LE GRANDI QUESTIONI DELLA SCIENZA

Il viaggio nei territori della scienza e del comportamento umano, della natura e della medicina, della tecnologia e dell'ecologia continua con le grandi questioni che riguardano la scienza. Innanzitutto la definizione del concetto stesso di scienza e del metodo scientifico, basato sull'osservazione e la sperimentazione, attraverso cui comprendere i fenomeni, la struttura di tutto ciò che ci circonda, la materia, la sua natura, le sue proprietà, la luce, e ancora le forze che regolano l'universo.
Ma come è nato l'universo? Quante sono le galassie? Com'è fatto il sole? Queste sono solo alcune delle domande presenti nel volume che ci guida in modo piacevole nei grandi misteri del nostro cosmo.

Che cos'è la scienza?
Che cosa sono e a che cosa servono le particelle?
Come si presenta la materia?
Che cos'è la luce?
Che cos'è la superforza?
Che cos'è la teoria della relatività?
Che cos'è la termodinamica?
A che cosa serve la chimica?
Com'è nato l'universo?
Quante sono le stelle?
Com'è fatto il Sole?

2

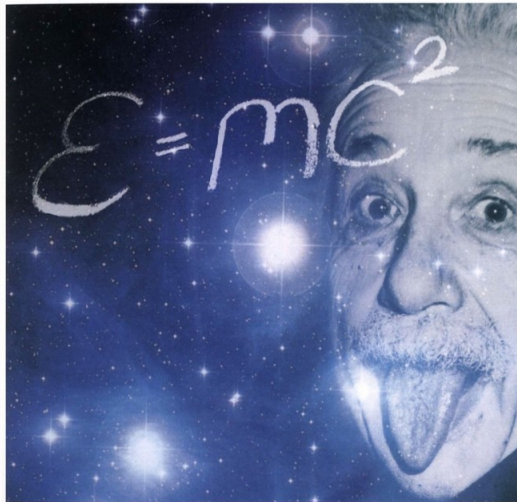
LE GRANDI QUESTIONI DELLA SCIENZA

Focus

PICCOLA ENCICLOPEDIA DELLE

CURIOSITÀ SCIENTIFICHE

2

LE GRANDI QUESTIONI DELLA SCIENZA

CORRIERE DELLA SERA

Piccola enciclopedia delle curiosità scientifiche
Vol. 2 – Le grandi questioni della scienza

Edizione speciale per il Corriere della Sera

I Manuali del Corriere della Sera
Direttore responsabile: Paolo Mieli
RCS Quotidiani S.p.A.
Via Solferino 28 - 20121 Milano
Sede legale: Via Rizzoli 2 - Milano
Registrazione presso il Tribunale di Milano n° 564 del 6/9/2004

Realizzazione editoriale a cura di

Focus

Direttore responsabile: Sandro Boeri
Gruner+Jahr/Mondadori Spa
Corso Monforte, 54 - 20122 Milano

La selezione dei migliori articoli dedicati al mondo della scienza, tutti i testi e le illustrazioni presenti nell'Opera sono stati rielaborati o realizzati appositamente per questa edizione a cura della redazione di Focus.

Progetto grafico di copertina: Out of Nowhere S.r.l.
Art: Marco Pennini & C.

PICCOLA ENCICLOPEDIA DELLE

CURIOSITÀ SCIENTIFICHE

LE GRANDI QUESTIONI DELLA SCIENZA

CORRIERE DELLA SERA

Sommario

INTRODUZIONE

LE SCIENZE

Un volume sulle grandi questioni della scienza non può non iniziare dalla domanda: che cos'è la scienza? Da sempre l'uomo si pone quesiti di tipo "esistenziale", come chi siamo? Da dove veniamo? Come ha avuto inizio il mondo? E perché? Per rispondere, segue due vie diverse: quella religiosa, basata sulla fede in verità trascendenti, e quella razionale, basata sull'osservazione del mondo e sul ragionamento. Quest'ultima è la "scienza", vale a dire il sapere umano basato su fatti oggettivi e razionali, misurabili sperimentalmente o deducibili matematicamente da principi assodati. Ma come si è arrivati a questa definizione di scienza? E quali sono i problemi più importanti che la comunità scientifica deve affrontare oggi? Se ai tempi di Galileo una nuova scoperta poteva impiegare secoli a influenzare la vita delle persone, oggi non è più così. Basti pensare che, grazie agli sviluppi della medicina, la nostra vita media è quasi raddoppiata nell'ultimo secolo. Le nuove domande sono dunque relative ai problemi etici. È giusto investire in esperimenti costosissimi? Come indirizzare lo sviluppo per migliorare le condizioni di vita senza danneggiare l'equilibrio ecologico? Fino a che punto è lecito manipolare direttamente la vita?

CHE COS'È LA SCIENZA?

L'uomo ha sempre cercato di comprendere il mondo che lo circonda. E ha chiamato "scienza" il metodo che finora si è dimostrato più efficace per raggiungere questo scopo.

IN CHE COSA CONSISTE IL METODO SCIENTIFICO?

Per scoprire le sue verità la scienza si serve del "metodo scientifico", introdotto da Galilei. Si basa sull'osservazione sperimentale e su due processi mentali importantissimi, l'induzione e la deduzione.

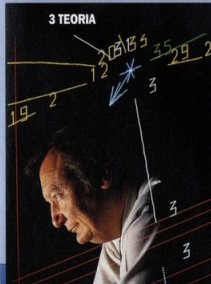
Che cos'è la scienza?

L'uomo ha sempre cercato di comprendere il mondo che lo circonda. E ha chiamato "scienza" il metodo che finora si è dimostrato più efficace per raggiungere questo scopo.

1 OSSERVAZIONE

Chi siamo? Da dove veniamo? Come ha avuto inizio il mondo? E perché?... Da sempre l'uomo si pone queste domande e, per rispondere, segue due vie diverse: quella religiosa, basata sulla fede in verità trascendenti, e quella razionale, basata sull'osservazione del mondo e sul ragionamento. La "scienza" è, infatti, il sapere umano basato su fatti oggettivi e razionali, misurabili sperimentalmente o deducibili matematicamente da principi assodati. Fino al XVII secolo e alle opere di Galileo Galilei, però, la scienza è rimasta strettamente intrecciata con la religione.

Perfezione matematica

I popoli antichi erano affascinati dal moto delle stelle e dalla possibilità di manipolare gli oggetti naturali per produrre utensili o medicinali. Per questo, popoli diversi in luoghi diversi (dalla Cina all'Egitto alla Mesopotamia) hanno sviluppato indipendentemente scienze come l'astronomia, l'alchimia e la medicina. Ma la spiegazione dei fenomeni naturali era per i nostri antenati rigorosamente religiosa. In Egitto, per esempio, si curavano le malattie con esorcismi e purificazioni, perché si pensava che fossero gli spiriti maligni a danneggiare la salute. Perfino la matematica, che cominciò a svilupparsi oltre 5 mila anni fa, aveva principalmente un valore simbolico e nessuno pensava di servirsene per descrivere la natura. Nemmeno i Greci, che pure introdussero il concetto stesso di dimostrazione rigorosa. La scienza greca oscillava infatti tra due ▸

I 4 modi di conoscere

La scienza ha almeno 4 facce: l'osservazione della natura (foto 1, alcuni radiotelescopi), la catalogazione di ciò che si è osservato (foto 2, una raccolta d'insetti), la proposta di una teoria generale (foto 3, il fisico Carlo Rubbia) e la sua verifica con l'esperimento (foto 4, un tecnico al laboratorio del Gran Sasso).

Scienza a tutti i costi? Costruzione del Superconducting super collider, un gigantesco acceleratore di particelle, mai completato perché troppo costoso.

estremi: la matematica pura, che raggiunse l'apice con la geometria di Euclide (III secolo a. C.), e l'osservazione della natura, che però era qualitativa e non quantificabile. Alla fine prevalse lo spirito metodico e classificatore di Aristotele, che catalogò, tra l'altro, tutte le specie viventi conosciute secondo schemi ancora oggi parzialmente utilizzati.

Non solo: Aristotele inquadrò la natura in un sistema logico coerente come mai nessun altro prima e dopo di lui è riuscito a fare. E infatti la sua visione dominò la cultura occidentale per almeno un millennio e mezzo, fino a diventare così "sacra" che nessuno osava più metterla in discussione.

La rivoluzione scientifica

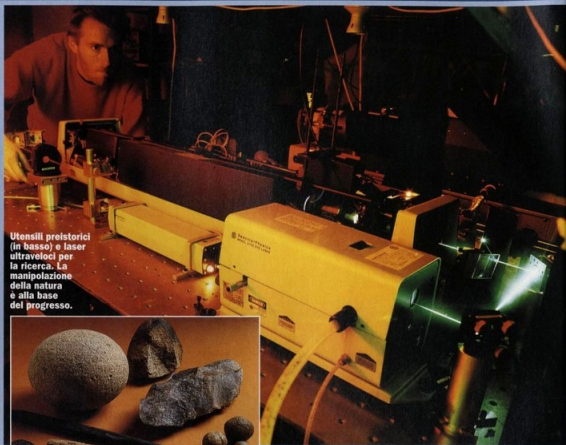
Questa situazione non poteva però durare in eterno e cambiò decisamente nel Rinascimento, anche per l'invenzione della stampa, che permise una più ampia circolazione delle idee. La svolta avvenne nel 1543, quando Niccolò Copernico affermò, nel *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, che è la Terra a girare intorno al Sole, e non viceversa, sfidando apertamente l'astronomia di Aristotele. Poco dopo, Galileo Galilei sferrò l'attacco definitivo, fondando, di fatto, la scienza moderna. Il suo contributo principale fu la costruzione di un metodo (v. il prossimo articolo) che permettesse di arrivare a conclusioni inconfutabili attraverso le osservazioni sperimentali.

Galileo, inoltre, inaugurò con il telescopio l'uso degli strumenti di misura, e con il piano inclinato gli esperimenti in laboratorio. Introdusse anche per la prima volta nella storia l'idea che la natura sia "scritta in lingua matematica". Questa concezione fu perfezionata da Isaac Newton, che nei suoi *Principia Mathematica* del 1687, pietra miliare della fisica, sviluppò matematicamente la meccanica classica e la teoria della gravitazione.

La macchina dell'universo

I successi delle teorie di Newton furono di tale portata che, ben presto, i fisici cominciarono a vedere l'universo come un'enorme macchina che "gira" seguendo leggi matematiche: era nato il meccanicismo. Molti scienziati pensavano che il meccanicismo si sarebbe esteso ad altre discipline, dalla biologia alla medicina, e la scienza avrebbe così ritrovato quell'unità che aveva ai tempi di Aristotele, ma con il moderno e potente linguaggio della matematica.

Questa estensione, però, non ci fu. Parallelamente al

Astronomia preistorica Megaliti a Callanish, nell'isola di Lewis (Uk): la loro disposizione riflette primitive (ma corrette) conoscenze astronomiche.

Utensili preistorici (in basso) e laser ultraveloci per la ricerca. La manipolazione della natura è alla base del progresso.

▶meccanicismo, infatti, si sviluppò una concezione della scienza basata sul pensiero di Francesco Bacone, contemporaneo di Galileo, che prediligeva la classificazione dettagliata e ordinatrice e dava molta importanza alle spiegazioni storiche. Lungo questo filone si svilupparono biologia, zoologia, genetica, anatomia ed evoluzionismo.

Ma lo scossone più forte al meccanicismo venne proprio dalla fisica, all'inizio del '900. Da una parte, Albert Einstein dimostrò che lo spazio e il tempo non esistono come entità a sé stanti, ma sono collegati tra loro e dipendono dalla velocità dell'osservatore; il che faceva crollare la sicurezza nella teoria di Newton. Dall'altra, la meccanica quantistica dimostrò l'imponderabilità di alcune misure a livello microscopico: quanto meglio si conosce la posizione di una particella in un certo istante, tanto meno la si conoscerà nell'istante successivo (principio di indeterminazione). Il che implicava l'impossibilità teorica di conoscere tutti gli aspetti della realtà: era il crollo del sogno del meccanicismo.

Sviluppo tecnologico

La scienza è cresciuta enormemente in tutti i campi, e anche il modo di lavorare è cambiato: la figura dello scienziato isolato ha lasciato il posto a gruppi di ricerca che possono essere composti da centinaia di persone, come quelli che lavorano nell'acceleratore di particelle del Cern di Ginevra o nei progetti di decodifica del genoma umano. Lo sviluppo tecnologico permette di indagare le condizioni più estreme: l'immensamente piccolo (miliardesimi di miliardesimi di metro), l'immensamente grande (miliardi di miliardi di chilometri), il freddissimo (milionesimi di grado sopra lo zero assoluto), e l'ultrapreciso (tempi esatti al miliardesimo di microsecondo). A effettuare i calcoli sono potentissimi computer, e la matematica comincia ad allargarsi anche al campo delle scienze non esatte, come economia e biologia, anche se sono ormai pochi a credere nella possibilità di descrivere con la matematica tutta la realtà.

Matematica: la realtà in una formula?

Fino a che punto la matematica può descrivere la realtà? La meccanica quantistica, che consente il calcolo dettagliato dell'energia degli elettroni negli atomi, è stata verificata con una possibilità di errore massimo dello 0,0000001 per cento.
E i principi alla base della relatività di Einstein sono accertati con una precisione mille volte superiore... tanto che poco tempo fa è stato misurato perfino il "peso" della gravità terrestre (la gravità, essendo una forma di energia, ha una sua massa, anche se negativa e piccolissima)!
Psico-equazioni? Il fisico teorico Eugene Wigner parlava di «irragionevole precisione della matematica» nella fisica, meravigliandosi del fatto che costruzioni apparentemente arbitrarie della nostra mente descrivano così bene la realtà.
Il mondo intorno a noi, fatto di persone ed esperienze, non sembra infatti avere alcuna struttura matematica. E nessuno si stupisce che non esistano leggi matematiche in biologia, medicina, sociologia. Perfino la "legge" di Darwin sull'evoluzione delle specie non si basa su formule e non consente di fare alcuna previsione.
Questa situazione cambierà in futuro? Gran parte dei fisici teorici pensa di sì, cioè ritiene che sarebbe possibile, con un supercomputer, calcolare tutta la realtà a partire dagli atomi. Perché gli atomi formano le molecole, e quindi le cellule e la vita. Perfino la coscienza potrebbe essere solo l'effetto della complessità di cellule nervose che formano il cervello... e quindi potrebbe manifestarsi anche in un calcolatore abbastanza complesso.
Aggregati di atomi. Ma non tutti sono d'accordo. Biologi e psicologi in particolare pensano che questo non sia vero: la vita è qualcosa di più di un semplice aggregato di atomi, così come un insieme di cellule nervose non basta a spiegare la coscienza.

Anche la coscienza segue leggi matematiche?

L'invenzione della stampa a caratteri mobili (1451) facilitò il diffondersi delle idee scientifiche.

J.J. Thomson scoprì l'elettrone creando una situazione che in natura non si presenterebbe.

La scienza di domani

Oggi però il problema più serio non è l'analisi filosofica dei limiti della scienza, ma l'impatto che le scoperte scientifiche possono avere su di noi. Se ai tempi di Galileo una nuova scoperta poteva impiegare secoli a influenzare la vita delle persone, oggi non è più così. Basti pensare che, grazie agli sviluppi della medicina, la nostra vita media è quasi raddoppiata nell'ultimo secolo. E tutti sono interessati agli esperimenti sulla clonazione e sulla manipolazione genetica.
Le nuove domande sono dunque relative ai problemi etici. È giusto investire in esperimenti costosissimi? Come indirizzare lo sviluppo per migliorare le condizioni di vita senza danneggiare l'equilibrio ecologico? Fino a che punto è lecito manipolare direttamente la vita?

La risposta dovrà essere data da tutti noi, e indicherà il percorso della scienza di domani. ❑

In cosa consiste il metodo scientifico?

Come fa la scienza a scoprire le sue "verità"? Per mezzo del metodo scientifico introdotto da Galileo, che si può schematizzare in 5 fasi.

Nel Medioevo, lo scibile umano veniva suddiviso in "scienze del trivio" (grammatica, dialettica e retorica) e "scienze del quadrivio" (geometria, aritmetica, musica, astronomia), seguendo gli schemi aristotelici.

Oggi queste classificazioni non esistono più: la scienza è frammentata in una miriade di discipline e specializzazioni, ognuna con un proprio linguaggio e una propria identità. Anche perché "scienza" non è solo la formulazione di leggi teoriche (come fa la fisica teorica), ma è anche osservazione, paziente catalogazione (come in biologia) e pratica quotidiana (come in medicina).

Acquisizione rigorosa

Ma c'è qualcosa che accomuna le varie discipline scientifiche e permette di distinguere in maniera concreta tra ciò che è scienza e ciò che non lo è? Secondo molti studiosi, sì... pur di fare qualche schematizzazione.

Le "verità" della scienza, per essere oggettive e indiscutibili, devono infatti essere acquisite in maniera rigorosa. Come riuscirci? La risposta più diffusa è: per mezzo del metodo scientifico introdotto da Galileo Galilei. Esso si basa sull'osservazione sperimentale e su due processi mentali importantissimi, l'induzione e la deduzione.

Osservazione e preparazione

Innanzitutto (prima fase), si definisce un problema sperimentale e si prepara un'osservazione diretta (per esempio guardare la volta celeste), oppure un esperimento creato per mettere in luce un fenomeno (per esempio, facendo rotolare biglie di bronzo sopra un piano inclinato). L'osservazione può essere ef- ▶

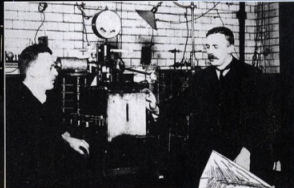
FASE 1

Con occhi o strumenti

Un biologo dell'Imperial college di Londra calibra un microscopio elettronico. La preparazione dell'esperimento consiste sia nello stabilire che cosa si vuole guardare, sia nella scelta di come fare l'osservazione.

FASE 2

Scatola a sorpresa

Ernst Rutherford e Hans Geiger, nel laboratorio in cui contarono le "particelle alfa" prodotte da materiali radioattivi. Solo in seguito, Geiger scoprì che erano nuclei di elio.

FASE 3

Ma allora...

L'accelerazione di gravità è la stessa per tutti i corpi. Come ci arrivò Galileo? Per induzione, ma anche con ingegno!

OLTRE 2 MILA ANNI DI SVILUPPO

La matematica greca nacque con Talete, nel VI sec. a. C., e raggiunse l'apice nel III secolo con **Euclide,** che scrisse gli *Elementi di geometria*, e con Archimede.

Fu **Aristotele** (384-322 a. C.) a inquadrare tutta la natura in un sistema logico, che dominò per 1.500 anni. Pensava che la Terra fosse al centro dell'universo.

Nikolaj Kopernik (1473-1543). Copernico attaccò la visione aristotelica, affermando che è la Terra a girare intorno al Sole. Keplero lo dimostrò poco dopo.

La scienza moderna nacque con **Galileo Galilei** (1564-1642) che introdusse il metodo sperimentale. Sulla sua scia, Newton scrisse le leggi della meccanica e gravitazione.

Sulla base di molte osservazioni **Charles Darwin** (1809-82) formulò la teoria dell'evoluzione delle specie (1859), dandole basi scientifiche.

Louis Pasteur (1822-1895) diede impulso alla medicina, che fino ad allora non aveva solide basi scientifiche. Fondò la microbiologia e l'immunologia.

Gregor Johann Mendel (1822-1884) scoprì le leggi dell'ereditarietà, fondando la genetica. Il Dna fu scoperto nel '53 da Francis H. Crick e James D. Watson.

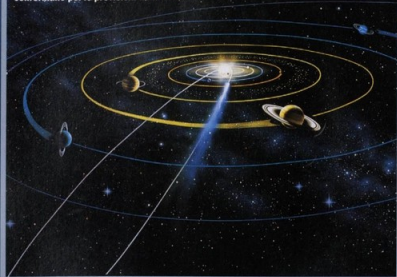
Sigmund Freud (1856-1939) studiò la mente umana, in particolare la nevrosi, fondando la psicanalisi. Il suo pensiero influenzò tutta la cultura occidentale.

FASE 4 - Teoria estesa

Uno schema del sistema solare. Le orbite dei pianeti e di una cometa, qui evidenziate, si possono dedurre dalle leggi di Newton. Le osservazioni astronomiche confermano poi le previsioni della teoria.

FASE 5

Tutto vero?

Un ricercatore cerca tracce del passaggio di neutrini, previsti dalla teoria nota come "modello standard", nel laboratorio del Gran Sasso.

fettuata con i propri sensi o attraverso strumenti di misura, come telescopi, miscroscopi o contatori Geiger (che "vedono" le radiazioni). Si noti che gli esperimenti non sono mai fatti senza motivo, ma per verificare una teoria esistente (v. fase 5) o per cercare applicazioni concrete (come avviene nell'industria).

La seconda fase, quella della misura, è spesso ricca di sorprese. Anche perché a volte si misurano effetti non ben compresi. Come quando Ernst Rutherford e Hans Geiger contavano le particelle alfa (nuclei di elio) prodotte da decadimenti radioattivi, ma senza avere ancora chiaro come fosse fatto l'atomo.

Albert Einstein (1879-1955) scrisse le teorie della relatività ristretta (1905) e generale (1916), che rivoluzionarono i concetti di spazio e tempo.

Werner Heisenberg (1901-1976) ed Erwin Schrödinger fondarono la meccanica quantistica: ogni particella ha una natura ondulatoria, e viceversa.

Le misure e la casualità

È proprio per questo che molte scoperte importanti vengono fatte per caso. Alexander Fleming, per esempio, scoprì la penicillina notando che una muffa inibiva inaspettatamente la crescita di alcuni batteri. Un altro esempio è quello di Arno Penzias e Robert Wilson, che vinsero il premio Nobel per la fisica nel 1978 per aver scoperto la radiazione fossile lasciata dal Big Bang (l'esplosione che diede origine all'universo)... quando i due, in realtà, volevano solo osservare i resti di una supernova. Un esperimento scientifico, inoltre, per avere valore, dev'essere riproducibile, cioè dev'essere realizzabile anche in altri laboratori. I dati sperimentali, una volta accumulati e selezionati, devono poi essere inquadrati in una visione generale. Questa terza fase è chiamata induzione e consiste in un processo di astrazione che consente di trovare una regola generale a partire da dati particolari. Per esempio, quando Galileo vide oggetti diversi cadere dalla torre di Pisa nello stesso modo, concluse che l'accelerazione di gravità è la stessa per tutti i corpi... compresi quelli che non aveva visto. Anche Charles Darwin fece ricorso all'induzione quando formulò la legge dell'evoluzione partendo dallo studio dei fossili.

La costruzione del modello

A partire dalle generalizzazioni dei dati empirici si cerca di costruire modelli (v. disegno a sinistra) o teorie di validità più generale (quarta fase). Un ottimo esempio è la teoria della gravitazione di Newton, che permette di capire anche l'esperimento di Galileo come caso particolare. Allo stesso modo, ogni buona teoria scientifica dovrebbe permettere la deduzione logico-matematica di un'ampia gamma di fenomeni. La deduzione è il processo mentale tipico del ragionamento matematico, ma è anche utile in medicina, quando in base ai modelli noti (in questo caso non matematici) si cerca di produrre un nuovo farmaco (v. riquadro a destra). Le conseguenze della teoria devono essere sottoposte a verifica sperimentale (quinta fase), perché nessuno garantisce a priori che siano valide. Soprattutto quando si tratta di teorie astratte come il "modello standard", che descrive il mondo delle particelle elementari (come elettroni, quark, neutrini).

Secondo il filosofo della scienza Karl Popper, non è mai possibile essere certi che una teoria scientifica sia giusta; al più la si può falsificare, ossia dimostrare che è sbagliata, e per farlo basta trovare un solo esperimento che la smentisca. Se la teoria non funziona bisogna abbandonarla e tornare alla fase 1.

Popper spinse questa idea fino a dire che una teoria che non è falsificabile non è scientifica. In altre parole, per ogni teoria dev'essere concepibile almeno un esperimento in grado di dimostrare (se non dà il risultato previsto) che la teoria stessa è sbagliata. Ha ragione Karl Popper? Per le leggi fisiche, sì. Per esempio, la teoria della gravitazione di Newton è falsificabile perché fa previsioni precise: se una sola orbita non corrispondesse ai calcoli, significherebbe che la teoria è sbagliata.

Al contrario, l'astrologia non può essere messa in dubbio sulla base di un preciso esperimento, quindi non è una disciplina scientifica. Se un oroscopo non funziona, infatti, nessuno può dire che l'astrologia ha fallito. Chi crede all'astrologia dovrebbe quindi essere consapevole che lo fa sulla base di convinzioni personali e non di verità oggettive. Sigmund Freud diceva: «La scienza non è un'illusione. Sarebbe invece un'illusione credere di poter ottenere da altre fonti ciò che essa non è in grado di darci». ❑

FARMACOLOGIA

Come si giudica se una terapia medica è efficace?

Il metodo scientifico viene applicato anche in medicina, per stabilire l'efficacia di una terapia. Ma il corpo umano dà risposte così variabili che una singola prova non basta: è necessario un campione abbastanza vasto da poter applicare una valutazione statistica.

Quattro fasi. La sperimentazione medica si svolge in quattro fasi (da non confondere con quelle descritte nel testo). Nella prima si verifica la tollerabilità del farmaco (cioè ci si assicura che non faccia male), nella seconda si delimita il campo d'azione terapeutica (cioè su quali malattie il farmaco ha un effetto). Solo a questo punto, ovvero se la cura sembra funzionare, si passa alla terza fase, che consiste nel confronto della terapia con un'altra di riferimento (se possibile).

Effetto placebo. Quest'ultima può essere la migliore terapia disponibile, oppure un "placebo", ossia una cura finta. Le due terapie sono applicate a due gruppi di pazienti che sanno di essere in sperimentazione, ma non con quale terapia. Lo scopo è quello di evitare suggestioni psicologiche.

Analisi continua. Se la terapia funziona, viene messa in commercio, ma si continua a seguirla per studiarne gli effetti collaterali, e questa è la quarta fase. Lo stesso metodo di analisi si può applicare a qualunque tipo di cura, chimica, naturale o alternativa, anche se non tutti i medicinali vengono sottoposti allo stesso iter. Dagli studi finora effettuati (non completi), sembra per esempio che l'omeopatia non abbia reali effetti terapeutici. Mentre l'agopuntura risulta funzionare in qualche caso specifico contro stress e dolore, anche se non si è ancora capito perché. Nel caso Di Bella, la verifica clinica si è fermata alla fase 2, in quanto dall'esame delle cartelle cliniche appariva ingiustificato e pericoloso andare oltre.

PARTE PRIMA

MATEMATICA E FISICA

Tutto ciò che ci circonda si muove e cambia: il Sole nel cielo, le foglie sugli alberi, l'acqua nei fiumi, gli uccelli nell'aria, le rughe sul viso. Sono le forze a plasmare il mondo e a produrre i cambiamenti che osserviamo quotidianamente. Sono loro a dirigere qualsiasi processo fisico, chimico o biologico. A prima vista le forze sembrano essere molte e diverse fra loro, ma non è così. Negli ultimi tre secoli, i fisici si sono accorti che per spiegare ogni interazione fra i corpi bastano quattro forze: la forza gravitazionale, la forza elettromagnetica, e due forze che si manifestano solo dentro l'atomo, chiamate semplicemente "forte" e "debole".

COSA SONO E A CHE SERVONO LE PARTICELLE?

Dagli atomi degli antichi Greci fino alle più recenti teorie sui quark, ecco quello che abbiamo scoperto finora sui costituenti ultimi dell'universo che ci circonda.

COME SI PRESENTA LA MATERIA?

All'inizio era una specie di "zuppa" caldissima e uniforme di particelle elementari. Raffreddandosi, ha preso le forme più diverse: dalle aurore boreali ai tessuti viventi.

CHE COS'È LA LUCE?

Gran parte delle informazioni sul mondo che ci circonda sono portate dalla luce. Ma la luce stessa che cos'è? Un gas? Una vibrazione? O una forma di energia? Ecco cosa dicono gli scienziati.

CHE COS'È LA SUPERFORZA?

Il cosmo è regolato da 4 forze: gravità, elettromagnetismo, interazioni nucleari forte e debole: ma gli scienziati sperano di scoprire che sono manifestazioni diverse di un'unica forza universale.

CHE COS'È LA TEORIA DELLA RELATIVITÀ?

Il concetto di relatività è ormai radicato. Grazie a Einstein, però, abbiamo capito che masse, tempi, lunghezze dipendono dall'osservatore.

CHE COS'È LA TERMODINAMICA?

Anche gli uomini primitivi si rendevano conto dell'esistenza del calore. Eppure abbiamo capito la sua natura e le sue leggi soltanto due secoli fa.

470 a. C. - I primi atomi
Il greco Leucippo propone l'idea che la materia sia fatta di mattoncini o "atomi".

1808 - Gli atomi si moltiplicano
Il chimico John Dalton ipotizza che a ogni elemento chimico corrisponda un diverso tipo di atomo.

1897 - Ecco l'elettrone
Joseph John Thomson scopre gli elettroni studiando i raggi catodici.

1896 - Non più indivisibili
Esperimenti sulla radioattività di Henry Becquerel, Marie e Pierre Curie (foto) dimostrano che gli atomi non sono particelle elementari.

1905 - Il fotone
Nello stesso anno in cui pubblica la teoria della relatività, Einstein teorizza anche l'esistenza del "quanto" di luce, il fotone.

1911 - Si scopre il nucleo
Ernest Rutherford (foto) capisce che gli atomi hanno al centro un nucleo più denso.

1932 - Il neutrone
James Chadwick scopre il neutrone: ora nell'atomo ci sono 3 particelle (protone, elettrone e neutrone).

1968 - Dentro il nucleo: i quark
A Stanford, Stati Uniti, si scopre che protoni e neutroni sono costituiti a loro volta da particelle più piccole: i quark.

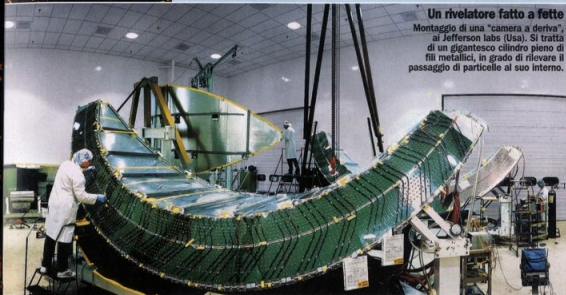
1982 - I bosoni escono allo scoperto
Al Cern di Ginevra Carlo Rubbia (foto) osserva i bosoni W e Z, "mediatori" della forza debole.

1995 - L'ultimo quark
Al FermiLab di Chicago si scopre l'ultimo quark, il Top. I quark erano stati ipotizzati da Murray Gell-Mann (foto).

1934 - L'antimateria
Carl Anderson (foto), scopre nei raggi cosmici il positrone, la prima particella d'antimateria.

1997 - Si fabbrica un atomo di antimateria
Per la prima volta al Cern di Ginevra si producono atomi di anti-idrogeno.

1998 - Neutrini
I neutrini hanno una massa: lo dimostrano esperimenti in Italia e in Giappone.

200? - Il gravitone
È l'obiettivo più ambito: scoprire la particella che "trasporta" la gravità.

Un rivelatore fatto a fette
Montaggio di una "camera a deriva", ai Jefferson labs (Usa). Si tratta di un gigantesco cilindro pieno di fili metallici, in grado di rilevare il passaggio di particelle al suo interno.

Dagli atomi degli antichi Greci alle più recenti teorie sui quark, ecco ciò che abbiamo scoperto finora sui costituenti ultimi dell'universo che ci circonda.

Cosa sono e a che servono le particelle?

Per i Greci, i primi ad aver creato una solida teoria delle particelle, l'intero universo era composto da tante minuscole sferette che non potevano essere spezzate e che, proprio per questo, prendevano il nome di atomi (parola che in greco significa "indivisibili"). Oggi ne sappiamo di più, ma il concetto di base è rimasto: tutto, nell'universo, è composto di particelle. Il complicato quadro tracciato dalla scienza è noto come "modello standard", ma si tratta di un modello talmente caotico e affollato che alcuni ricercatori lo chiamano "zoo di particelle".

Sono 300, ma non tutte fondamentali

Fuori o dentro l'atomo, i fisici hanno infatti scoperto circa 300 particelle, anche se la maggior parte di esse non sono fondamentali: quasi tutte sono infatti composte da coppie o terne di altre particelle, e solo queste ultime sono fondamentali. Per esempio, il pione contiene un quark e un antiquark, il neutrone è composto da 3 quark e il fotone gamma può essere visto come somma di elettrone e antielettrone.

Tuttavia, fondamentali o no, è lecito chiedersi dove siano tutte queste 300 particelle che non si sentono mai nominare. La risposta è che, da un punto di vista pratico, è come se non esistessero. Quasi tutte hanno infatti un'esistenza effimera, della durata di qualche frazione di milionesimo di secondo. Sono però importanti per i fisici teorici, per i quali costituiscono importanti indizi sulle leggi dell'universo e sul modo in cui potrebbe essersi formato. In ogni caso, quando si parla di ▸

Orario continuato

Turno notturno per Ryuhei Sugahara, nel laboratorio giapponese del Kek, dove c'è uno dei maggiori acceleratori di particelle del mondo.

particelle, bisognerebbe sempre pensare a entità completamente al di fuori da ogni schema mentale, che si comportano "come se" fossero granellini di materia, ma che non lo sono affatto. Sarebbe forse più esatto pensare a esse come punti geometrici, dotati di massa, carica elettrica e altre proprietà come la "carica di colore".

A complicare le cose, tra le particelle agiscono alcune forze che a loro volta sono esercitate come scambio di particelle: i tre quark che si trovano nei protoni, per esempio, sono tenuti insieme da un continuo scambio di particelle-colla, i gluoni (*glue* in inglese significa "colla").

Se i leptoni fossero animali...

I mattoni fondamentali della materia sono i leptoni (da *leptos* che significa minuto, svelto) e i quark (termine proposto dal fisico americano premio Nobel Murray Gell-Mann).

Ci sono 6 leptoni, il più noto dei quali è l'elettrone, e 6 quark. Se i leptoni fossero animali, nello "zoo di particelle" si potrebbero raffigurare come gatti: vivono infatti solitari, in libertà assoluta. In natura si producono durante reazioni nucleari o in collisioni tra i raggi cosmici e gli atomi dell'alta atmosfera terrestre.

Nel confronto con il mondo animale i quark si possono immaginare, invece, come elefanti, perché viaggiano sempre in gruppo a formare altre particelle come neutroni e protoni.

Generazioni di particelle

La materia che conosciamo, cioè quella che esiste sulla Terra, è però costituita solo da due leptoni e da due quark, che costituiscono quella che è chiamata "prima generazione" di particelle. Che fine fanno allora tutte le altre particelle quando nascono? Decadono, ossia si trasformano in tempi brevissimi in altre particelle (quelle che vivono più a lungo durano qualche centimillesimo di secondo) in una catena di mutazioni che si conclude con i due quark "up" e "down", o con l'elettrone e il neutrino elettronico che formano tutta la materia dell'universo stabile. Nessuno ha idea del perché esistano tutte le altre particelle fondamentali, dette di seconda e terza generazione.

Risulta chiaro dunque, perché nel 1936, quando venne scoperto il muone (particelle di seconda generazione) da Carl Anderson, il fisico Isidor Rabi di fronte alla notizia esclamò: «Chi lo ha ordinato?». E finché non si capirà perché ci sono altre due "generazioni" di particelle, non ▶

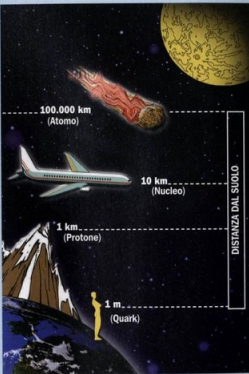
SQUARK E FOTINI

E ci sono anche le particelle "supersimmetriche"

Un'équipe guidata da Jan Jolie dell'Università di Friburgo (Germania) ha trovato, usando l'acceleratore di particelle Tandem a Monaco di Baviera, la prima prova dell'esistenza di particelle "supersimmetriche".

Diverse rotazioni. A seconda del loro modo di ruotare, infatti, le particelle sono classificate in due diversi gruppi: fermioni e bosoni. Tra i primi, ci sono i quark e gli elettroni, tra i secondi sono compresi i fotoni e i gluoni.

La teoria supersimmetrica sostiene che a ogni fermione corrisponde un bosone e viceversa: per ogni quark ci sarebbe uno "squark", per ogni fotone un "fotino".

La conferma di questo raddoppio delle particelle si avrà però solo fra qualche tempo, quando sarà attivo l'Lhc, il nuovo acceleratore del Cern di Ginevra.

La materia è tutta vuota

Nel disegno qui sopra, una visualizzazione delle distanze subatomiche: se un quark avesse il diametro di un metro, allora il protone sarebbe largo 1 km, il nucleo atomico 10 km e l'intero atomo circa 100 mila km.

►si può escludere di trovarne ancora. Per questo c'è chi ipotizza che i quark e i leptoni non siano particelle fondamentali, ma aggregazioni di ignote particelle davvero primitive.

Le portatrici delle forze

Oltre ai costituenti della materia, come abbiamo detto, esistono altre particelle: quelle utilizzate per trasmettere le forze. Si immaginino due giocatori di pallacanestro che si lanciano un pallone invisibile: lo si vedrà rallentare, sbandare o inclinarsi ogniqualvolta lanceranno il pallone o lo riceveranno dal compagno e i movimenti saranno proporzionali alla forza e alla direzione del pallone lanciato o ricevuto. Tra i due cestisti, dunque, il pallone invisibile trasmette una forza. Questo esempio serve per immaginare ciò che succede tra i corpuscoli della materia: si influenzano a distanza attraverso particelle "invisibili" che trasportano le forze. I giocatori sono le particelle della materia, la palla corrisponde alle particelle trasportatrici di forze. Ciò che generalmente si chiama "interazione", dunque, altro non è che l'effetto di particelle "portatrici" di forze, per questo definite "vettori".

Trascurata la forza di gravità

Poiché esistono 4 forze (gravità, elettromagnetismo, forza debole e forza forte) dovrebbero esserci altrettante particelle che ne trasportano gli effetti.

La forza gravitazionale, che è la più nota per i suoi effetti quotidiani, non è stata però inclusa nel modello standard, perché la sua azione è estremamente piccola a livello di particelle elementari. Inoltre non è ancora stata scoperta una particella portatrice della forza gravitazionale, anche se molti fisici sono così certi della sua esistenza che l'hanno preventivamente chiamata "gravitone".

Il fotone, invece, è la particella che trasporta le forze elettromagnetiche che agiscono tra particelle cariche elettricamente e magneticamente. I fotoni sono particelle camaleontiche: in base alla loro energia diventano, di volta in volta, raggi gamma, luce, microonde, onde radio e così via. L'unica differenza, in realtà, sono gli effetti sull'uomo (i raggi gamma sono radiazioni pericolose) e sulla tecnologia (che sfrutta, per esempio, le onde radio e le microonde).

Poi ci sono due interazioni che non si notano perché il loro raggio d'azione si esaurisce dentro i nuclei degli atomi, ma dalle quali dipende la struttura dell'universo. La prima è quella che tiene uniti i quark, e la sua intensità dipende dal "colore" di questi ultimi. I quark, infatti, oltre ad avere una carica elettrica e una massa, hanno anche un'altra proprietà che non ha riscontro nel mondo di tutti i giorni e che è stata battezzata, appunto, colore (v. disegni qui sotto). Ogni quark può avere colore rosso, verde o blu

La più debole delle forze

Ma esistono fenomeni che richiedono altre forze in gioco. Un esempio è l'emissione da parte di alcuni nuclei instabili di raggi beta, altro nome degli elettroni: come è possibile che nuclei di protoni e neutroni (cioè particelle composte di quark) possano emettere una particella completamente diversa come l'elettrone? Questo e altri fenomeni hanno fatto ipotizzare l'esistenza di altri tipi di interazioni, cui si è dato il nome di "forze deboli" perché si manifestano a distanze molto inferiori rispetto alle interazioni "forti". Mentre queste ultime si manifestano a distanze dell'ordine di grandezza di 10^{-14} m, infatti, le forze deboli si fanno sentire entro ordini di grandezza di circa 10^{-16}-10^{-17} m. I veicoli delle forze deboli sono altre particelle ancora, note come W^+, W^- e Z^0, la cui conferma sperimentale valse il premio Nobel a Carlo Rubbia. Nel caso dell'esempio citato il fenomeno è stato spiegato ammettendo che un quark down di un neutrone del nucleo si trasformi in quark up, espellendo un bosone W^- che a sua volta dà origine a un elettrone e a un anti-neutrino. ❑

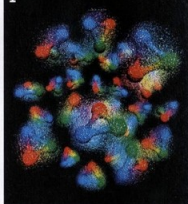
QUALI SONO LE PARTICELLE FONDAMENTALI?

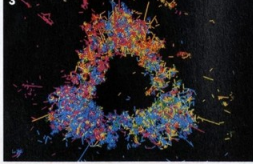
Le particelle-base che, con le antiparticelle (fatte di antimateria), costituiscono l'universo.

		LEPTONI (particelle che possono muoversi in solitudine)		QUARK (particelle che si trovano sempre in gruppo)	
Tutta la materia è composta dalle particelle "di prima generazione", qui a destra.	PRIMA GENERAZIONE	**ELETTRONE** Responsabile dell'elettricità e di reazioni chimiche. Ha carica -1.	**NEUTRINO ELETTRONICO** Particella con carica elettrica nulla, che interagisce molto poco con la materia. Ha massa poco superiore a 0.	**UP** Ha carica elettrica di +2/3. I protoni ne contengono 2, i neutroni 1.	**DOWN** Ha carica elettrica -1/3. I protoni ne contengono 1, i neutroni 2.
Quasi tutte queste particelle sono esistite solo nei primi istanti dopo il Big Bang. Ora si trovano nei raggi cosmici, oppure si creano negli acceleratori.	SECONDA GENERAZIONE	**MUONE** Simile a un elettrone, ma con massa maggiore.	**NEUTRINO MUONICO** Viene creato insieme al muone, nel decadimento di alcune particelle.	**CHARM** Carica +2/3, massa 300 volte quella dell'up.	**STRANGE** Carica -1/3, massa 20 volte quella del down.
	TERZA GENERAZIONE	**TAU** Massa ancora più grande.	**NEUTRINO TAUONICO** Terzo tipo di neutrino. Si sospetta che i 3 neutrini si possano trasformare l'uno nell'altro.	**TOP** Ultimo scoperto: massa 34 mila volte l'up.	**BOTTOM** Massa pari a 500 volte quella del down.

BOSONI Così sono chiamate le particelle che trasportano le forze.	**FOTONI** Sono le particelle che portano la luce e tutte le onde elettromagnetiche.	**GLUONI** Sono le particelle che portano la forza forte, quella che tiene uniti i quark.	**BOSONI VETTORI INTERMEDI** Portano la forza debole. Scoperti da Carlo Rubbia.	**GRAVITONI** Gli unici non ancora scoperti. Dovrebbero portare la forza di gravità.

I TRE COLORI DEI QUARK

1

2

3

Così sono fatti i nuclei

Nuclei di silicio (1), carbonio (2) e idrogeno (3). Sono fatti di nucleoni (protoni e neutroni), ciascuno dei quali contiene 3 quark. Ogni quark ha un diverso "colore" (v. testo) e la somma dei tre colori dà il "bianco", cioè colore nullo.

Una trappola per neutrini
Il super Kamiokande, in Giappone. È un immenso serbatoio pieno d'acqua, circondato da apparati per rilevare la minima scintilla. Serve a studiare i neutrini, nei rari casi in cui "si scontrano" con particelle di materia.

Le fabbriche delle particelle

Poiché molte di esse sono instabili, per studiarle bisogna prima crearle. Come? Facendo scontrare tra loro fasci di altre particelle, accelerati quasi alla velocità della luce.

Quando si scandaglia la natura molto in profondità, come si deve fare nella ricerca delle particelle fondamentali, non sono sufficienti i microscopi utilizzati, per esempio, dai biologi. Quei microscopi infatti, usano la luce per illuminare la struttura degli oggetti che si vogliono vedere ingranditi, e proprio per questo non possono mettere a fuoco oggetti più piccoli delle dimensioni della lunghezza d'onda della luce. I microscopi elettronici, tanto usati dai ricercatori di virus, sono più potenti dei primi perché l'energia degli elettroni è maggiore di quella della luce nei microscopi ottici, un'energia maggiore cui corrisponde una lunghezza d'onda minore che consente di mettere a fuoco i virus. Sfruttando questo principio, i fisici hanno escogitato nuovi strumenti per rilevare e studiare le particelle subatomiche: gli acceleratori.

Un "acceleratore" è un anello di metallo nel quale un fascio di particelle è accelerato a velocità prossime a quella della luce, per poi scontrarsi con un fascio analogo che viaggia in direzione opposta, oppure contro un bersaglio fisso. Maggiore è l'energia delle particelle accelerate e maggiore è la capacità di "vedere" oggetti piccoli.

L'osservazione avviene attraverso speciali rivelatori sistemati intorno al tubo dell'acceleratore, esattamente nei punti in cui i fasci si scontrano.

Collisioni ad alta energia

C'è anche un altro modo per descrivere il funzionamento degli acceleratori: essi letteralmente creano dal nulla le particelle da studiare. La difficoltà maggiore è che per creare particelle di massa molto elevata (come dovrebbe essere il gravitone) bisogna far avvenire lo scontro a una velocità enorme, raggiungibile solo con acceleratori immensi e troppo costosi per un singolo Paese. L'unico progetto in questo senso, l'americano Superconducting super collider, è stato definitivamente accantonato qualche anno fa dal Senato Usa proprio a causa dei crescenti costi. Gli acceleratori di particelle sono di due tipi: lineari e circolari. I primi possono essere lunghi anche alcuni chilometri e sono così diritti da essere tangenti alla curvatura della Terra. I secondi, chiamati sincrotroni, sono invece a forma di cerchio. Sono più costosi, perché richiedono potentissimi magneti per curvare la traiettoria delle particelle e mantenerle sempre al centro del tubo. Ma hanno un vantaggio: facendo ripetere al fascio lo stesso percorso varie volte, si può aumentarne l'energia a ogni passaggio. ❑

Che cos'è l'antimateria?

L'EVOLUZIONE DEL PROTONE

Sondando sempre più a fondo, i fisici hanno modificato 4 volte la loro descrizione del protone. L'ultima ipotesi? Un calderone di quark virtuali.

1919

Particella elementare

Anni '60

Modello a quark

Anni '70

Quark con gluoni

Anni '90

Mare di quark

Nel 1932 si scoprì che per ogni particella esisteva una "antiparticella" identica, ma con carica elettrica opposta.

Fino al 1932 sembrava che ogni oggetto materiale nell'universo fosse formato da tre sole particelle: protoni, elettroni e neutroni. Ma in quell'anno si scoprì nei raggi cosmici una nuova particella, un elettrone con carica positiva, subito battezzato "positrone". Era il primo contatto della scienza con l'antimateria: particelle identiche in tutto e per tutto a quelle già note, ma con carica elettrica opposta. Il primo accenno teorico all'antimateria risaliva al 1928, quando il fisico inglese Paul Dirac stava tentando di combinare, attraverso complesse equazioni, la relatività di Einstein con la meccanica quantistica. La teoria della relatività ristretta descrive ciò che succede quando un oggetto viaggia vicino alla velocità della luce, mentre la fisica quantistica cerca di spiegare come si comportano le particelle a una scala dell'universo molto piccola. Prima del 1925 queste due teorie si erano sviluppate quasi indipendentemente l'una dall'altra. Ma un punto di contatto esisteva: il moto dell'elettrone. L'elettrone è infatti una particella così piccola che per essa deve valere la meccanica quan- ▶

È vero che nel 1999 a New York fu creato un buco nero?

La fine del mondo potrebbe cominciare in un laboratorio di Long Island, nello Stato di New York, quando verrà acceso il nuovo acceleratore di particelle Rhic (Relativistic heavy ion collider) dei Laboratori nazionali di Brookhaven. Così parlavano alcuni fisici nell'autunno del 1999. Secondo loro, infatti, c'era una minima probabilità che le collisioni che avvengono al suo interno dessero origine a un buco nero.

Atomi d'oro. Il RHIC è un anello lungo 3,8 km, dove potenti magneti accelerano due fasci di atomi d'oro ionizzati a una velocità pari al 99,9% di quella della luce. Poi i due fasci si scontrano, producendo un "brodo di materia" 10 mila volte più caldo del centro del Sole e composto da quark strange e gluoni, particelle che forse si produssero nelle fasi iniziali del Big Bang.

Materia strana. Comunque sia, i quark strange decadono immediatamente, trasformandosi in sciami di altre particelle. L'allarme è stato lanciato solo quando è stata fatta l'ipotesi che i quark strange potessero unirsi tra loro formando particelle stabili di un nuovo tipo di materia superdensa. Se infatti fosse avvenuto proprio questo, e si fosse innescata una reazione a catena, la "materia strana" avrebbe potuto accumularsi, raggiungendo una densità tale da produrre un piccolo buco nero.

Disastro planetario. L'esperimento si è svolto senza conseguenze, ma gli scienziati avevano già escluso nel modo più assoluto che potesse portare a un disastro planetario. In ciascuna collisione sono infatti coinvolti solo un paio di nuclei atomici: se l'energia prodotta da un fenomeno così limitato fosse in grado di causare grandi effetti, allora vorrebbe dire che viviamo in un universo decisamente instabile. In effetti, collisioni di questo tipo avvengono di continuo nei raggi cosmici. E siamo ancora tutti vivi. Calcoli successivi hanno poi rivelato che l'energia occorrente per creare il fantomatico buco nero avrebbe dovuto essere 10 mila miliardi di volte superiore a quella effettivamente sviluppata all'interno del RHIC. Ma intanto la leggenda era nata.

Come nasce una leggenda. In otto tappe

A New York, in un acceleratore, si faranno scontrare nuclei atomici di oro, molto pesanti.

I nuclei d'oro collidendo si frantumano e creano una sorta di caldissimo gas di quark e gluoni.

Il plasma si raffredda, dando vita a molte particelle, tra cui molti quark "strange".

Una teoria afferma che gruppi di quark strange possono condensarsi formando "strangeletti".

Tutto ciò che tocca uno strangeletto potrebbe a sua volta tramutarsi in "materia strana".

RISCHIO 1: La reazione a catena potrebbe dare origine a una disastrosa esplosione.

Oppure, la materia superdensa nata dalle collisioni potrebbe formare un mini buco nero.

RISCHIO 2: Assorbendo la materia intorno, il buco nero divorerebbe a poco a poco la Terra.

Due tubi per un antiatomo
L'acceleratore Lear, al Cern di Ginevra. Qui, nel 1995, è stato per la prima volta creato un atomo di anti-idrogeno.

Un'ipotesi oscura
Un detector situato nella miniera di Boulby, in Gran Bretagna: cerca i wimp, particelle ipotetiche.

Un detector per particelle a Stanford, Usa.

▶tistica. Inoltre, l'elettrone si muove nell'atomo a velocità paragonabili a quella della luce, quindi deve rispettare anche le regole della relatività. Ciò che mancava era un'equazione che valesse contemporaneamente per entrambe, e Dirac la trovò.

Tutto previsto da un'equazione

L'equazione di Dirac prevedeva però l'esistenza di una particella con la stessa massa dell'elettrone e carica opposta: il positrone, appunto. Dirac aveva anche previsto che se un positrone si scontra con un elettrone, entrambi scompaiono generando un raggio gamma, in un fenomeno chiamato "annichilazione". L'esistenza del positrone venne confermata 4 anni più tardi dall'americano Carl Anderson, che lo scoprì nei raggi cosmici.

Per la precisione, i raggi cosmici sono particelle ad altissima energia provenienti dallo spazio, che scontrandosi con le molecole dell'alta atmosfera terrestre generano "fontane" di particelle subatomiche. In queste Anderson individuò appunto i positroni: le tracce che queste particelle lasciavano nei rivelatori erano simili a quelle dei protoni, ma più deboli come se le particelle fossero state più leggere. Inoltre, quando attorno al rivelatore venne posto un campo magnetico, questi forzò la misteriosa particella a curvare nella direzione opposta a quella dell'elettrone, dimostrando che possedeva una carica positiva. Una volta confermata l'esistenza dei positroni ci si rese conto che queste particelle erano state ignorate perché non ci si attendeva che esistessero. Particelle che tracciavano curve "sbagliate", infatti, erano state notate anche negli anni Venti, ma i ricercatori avevano messo da parte i dati classificandoli come inspiegabili. Gettando via in tal modo l'occasione di vincere un Nobel.

Oggi gli scienziati hanno dimostrato che tutte le particelle possiedono un'antiparticella con la quale potrebbero annichilarsi, se si incontrassero. Niente paura, però. Nell'universo sembra esserci pochissima antimateria. Gli scienziati ne sono quasi sicuri, perché non rilevano le radiazioni gamma che dovrebbero essere emesse dall'annichilazione della materia: l'unica antimateria con cui abbiamo a che fare è quella creata dai raggi cosmici ad alta energia, oppure, artificialmente, negli acceleratori di particelle.

A caccia di antiparticelle

Non è escluso, comunque, che galassie di antimateria possano esistere in luoghi distanti dell'universo e che sia impossibile per noi riuscire a rilevarle. Dopo tutto, la luce emessa da stelle di antimateria sarebbe del tutto identica a quella delle stelle a noi note.

Proprio per questo, gli scienziati hanno progettato un rivelatore di antimateria, che sarà installato sulla Stazione spaziale internazionale: scopriremo così se nel vuoto esiste almeno qualche antiparticella, magari proveniente da lontane antigalassie.

Ma sono in pochi a credere che davvero nell'universo siano presenti ancora grandi quantità di antimateria: è più probabile che, poco dopo il Big Bang, l'antimateria si sia estinta. Come mai? Perché le leggi del nostro universo appaiono essere leggermente squilibrate a favore della materia. Esperimenti per comprendere meglio questo squilibrio sono in corso a Stanford, negli Stati Uniti, e a Frascati, in Italia. ❑

Che cos'è la "particella di Dio"?

Se non ci fosse, secondo le teorie moderne, noi stessi e tutti gli altri oggetti non avremmo né massa né peso.

È stata soprannominata così un'ipotetica particella, detta più propriamente "bosone di Higgs", che fu teorizzata dal fisico britannico Peter W. Higgs negli anni '60 del secolo scorso. Se il bosone di Higgs non esistesse, le teorie moderne non riuscirebbero a giustificare il fatto che gli oggetti hanno una massa e, quindi, un peso. Questa particella è così importante che il premio Nobel Usa Leon Max Lederman l'ha chiamata "particella di Dio".

Attrito pesante. L'esistenza del bosone di Higgs è legata al fatto che, secondo la teoria, lo spazio è permeato da un "campo" (cioè un'entità per certi aspetti paragonabile al campo gravitazionale), detto campo di Higgs. Le particelle, muovendosi, attraversano il campo e sono frenate: questa interazione tra particelle e campo genera la massa. Se il campo di Higgs esiste, però, secondo la teoria deve esistere anche una particella a esso associata, che è proprio il bosone di Higgs.

Questo bosone non è stato ancora trovato, anche se alcuni fisici pensano che potrebbe essere già stato prodotto (ma non riconosciuto con certezza) negli acceleratori di particelle. ❑

In attesa di conferme
I fisici (nella foto, il premio Nobel Burton Richter) studiano le particelle elementari con i grandi acceleratori. Nel tentativo di trovare le prove definitive dell'esistenza del bosone di Higgs.

C'è ancora radioattività di Chernobyl residua?

La radioattività a Chernobyl continua a essere presente (ma non in Italia), come testimoniano osservazioni effettuate in campi diversi. La prima riguarda il cesio: questo elemento radioattivo, infatti, dimezza la sua attività soltanto dopo 30 anni. Quindi, si trovano ancora significative quantità di questa pericolosa sostanza nei funghi e in vegetali che assorbono nutrimento dal terreno. Negli ultimi anni, nelle partite di funghi provenienti dai Paesi dell'Est europeo (come Romania e Bulgaria), in almeno una decina di casi si è riscontrato il superamento dei limiti di radioattività consentiti (600 bequerel/kg). La seconda osservazione riguarda i bambini nati in quella regione dopo l'incidente: nel loro sangue sono presenti tassi di radioattività anche tripli rispetto ai bambini di qualsiasi altro Paese.

L'impianto nucleare di Chernobyl, in Ucraina, dopo l'incidente del 1986 che ha contaminato l'Est europeo.

Le sirene azzurre
Nuotatrici nel parco Weeki wachee springs (Usa): l'acqua le fa apparire blu.

Perché sott'acqua i colori spariscono e tutto sembra blu?

L'acqua non è del tutto trasparente: assorbe più alcune lunghezze d'onda della luce e meno altre. Tra queste ultime c'è il blu.

Perché l'acqua, anche se sembra del tutto trasparente, in realtà assorbe in parte la luce.

E lo fa in modo selettivo, nel senso che assorbe diversamente i vari colori di cui la luce è composta: di più il rosso e meno il blu.

Per questo motivo, se si guarda attraverso alcuni metri d'acqua, si vede un colore blu intenso (quello meno attenuato), a meno che vi siano altri fattori nell'ambiente che alterino i colori, come gli alberi, il fango, le alghe e così via.

Filtro naturale. Quando si guarda sott'acqua, dunque, i colori si attenuano per due motivi: perché la luce del Sole che illumina gli oggetti "sottomarini" è filtrata dall'acqua (e quindi tende al blu) e perché la luce che dagli oggetti giunge a noi è anch'essa filtrata.

Per vedere meglio i colori, bisogna avvicinarsi e usare una sorgente di luce artificiale. ❑

Una turista si tuffa in un'apertura del ghiaccio al Polo Nord.

Al Polo Nord ci si può raffreddare?

Sì, anche se è piuttosto improbabile. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, infatti, la causa principale del raffreddore non è il freddo, ma un virus che si trasmette da persona a persona. Il contagio può avvenire anche a temperature molto basse, ma al Polo Nord, dove la densità di popolazione è davvero esigua, la probabilità di essere infettati è molto bassa.

Tepore corporeo. Il virus, comunque, resiste al freddo, anche se poi infetta le cellule e si moltiplica solo a temperature più elevate (come quelle che si trovano nel corpo umano). Il freddo, infine, agevola anche l'infiammazione delle vie respiratorie, creando le condizioni adatte alla moltiplicazione del virus stesso. Ma da solo non basta a provocare il raffreddore.

Che cosa sono i nodi di Hartmann?

Secondo una teoria priva di qualsiasi fondamento scientifico introdotta negli anni '50 dal medico tedesco Ernst Hartmann, la Terra sarebbe attraversata da un reticolo di flussi elettromagnetici le cui maglie delimiterebbero spazi di dimensioni pari a circa due metri. Nei nodi del reticolo, detti appunto nodi di Hartmann, il flusso si intensificherebbe fino a divenire nocivo per la salute. I geologi, però, non hanno mai trovato traccia di questi nodi, anche se la teoria di Hartmann è ancora citata nei libri di architettura, in relazione a concetti di bioarchitettura. Peccato che i nodi non esistano.

I nodi di Hartmann sono spesso associati alla rabdomanzia.

Che cos'è il rumore termico?

Ogni dispositivo elettronico, come anche le antenne del gruppo di ricercatori nella foto (in Botswana), è disturbato dal rumore termico, soprattutto in ricezione.

Le cariche elettriche in continuo movimento disturbano qualsiasi apparecchiatura.

Qualunque oggetto che conduca la corrente ha sempre al suo interno un moto disordinato di cariche elettriche (anche quando non è in presenza di un campo elettrico) per il fatto di trovarsi a una temperatura superiore allo zero assoluto (pari a -273,15 °C).

Basta raffreddare. Per questa ragione, ogni dispositivo elettronico genera al suo interno un segnale, detto rumore termico, che disturba il funzionamento. Questo fenomeno è particolarmente fastidioso nei sistemi di comunicazione, soprattutto dalla parte di chi riceve, quando la potenza del segnale è bassa e il rumore può diventare paragonabile al segnale che si vuole captare. Per ridurre il fastidio del rumore termico si deve raffreddare l'apparecchiatura, in certi casi fino a pochissimi gradi sopra lo zero assoluto. ❑

Alcuni dei numeri naturali sono "perfetti".

Che cosa sono i "numeri perfetti"?

Secondo la definizione data dal matematico greco Euclide nel III secolo a. C., per numeri perfetti si intendono quei numeri naturali che sono pari alla somma di tutti i loro possibili divisori, escludendo loro stessi: il più piccolo numero perfetto è il 6, la somma dei cui divisori (1, 2 e 3) fa appunto 6. I numeri perfetti non sono facili da trovare e diventano sempre più rari man mano che si cresce nella sequenza dei numeri naturali: così, dopo il 6, il numero perfetto successivo è il 28 (1 + 2 + 4 + 7 + 14), quindi il 496, poi l'8.128 e così via.

Enormi. Finora non sono stati trovati numeri perfetti dispari, ma i matematici hanno dimostrato che, se ne esistono, devono avere oltre 300 cifre.

A oggi non si sa neppure quanti siano (o se siano infiniti), i numeri perfetti: quelli identificati sono oggi 41.

Il più grande ha oltre 7 milioni di cifre.

PLASMA
Aurora boreale. È un esempio di plasma: un gas di particelle elettricamente cariche. Di plasma sono composti anche fiamme, fulmini e stelle.

GAS
Gas freddi di anidride carbonica. In genere, i gas sono formati da molecole o atomi liberi di muoversi nello spazio.

SOLIDO
Un diamante nero. Nei solidi, gli atomi sono "congelati" in posizioni ben definite, spesso all'interno di regolarissime "griglie".

Come si presenta la materia?

All'inizio era una "zuppa" caldissima e uniforme di particelle elementari. Raffreddandosi, ha preso le forme più diverse: dalle aurore boreali ai tessuti viventi.

Le proprietà della materia non dipendono solo dal tipo di atomi che la formano, ma anche da variabili come temperatura e pressione, che ne descrivono lo stato interno. Quanto più è elevata la temperatura, per esempio, tanto è maggiore il movimento degli atomi. Qualche volta, anche se la temperatura varia di poco, la materia cambia completamente di "stato": è quello che succede nei processi di fusione o di ebollizione.

Cominciamo a esaminare lo stato di gas, che è definito dal fatto di non avere né una forma né un volume ben definito. I gas "normali" sono infatti costituiti da atomi o molecole elettricamente neutri che si muovono nello spazio.

Ma se la temperatura cresce oltre un certo limite, gli urti microscopici aumentano fino al punto in cui gli elettroni si staccano dagli atomi. Nasce così il "plasma": un gas di elettroni e "ioni" (atomi che hanno carica positiva). È uno stato diffusissimo in natura, ma fu scoperto solo nel ▶

LIQUIDO
Magma liquido. Anche la roccia, a temperatura elevata, si liquefa. Lo stato liquido è intermedio tra quello gassoso e quello solido.

▶1879 da Sir William Crookes. A differenza dei gas normali, il plasma conduce l'elettricità e ha proprietà magnetiche. Qualche esempio? Fulmini, fiamme, aurore boreali, stelle... alla fine, ben il 99% della materia è "plasma". Se si alza ancora la temperatura fino a oltre 1.000 miliardi di gradi, allora "evaporano" anche i nuclei atomici: la materia diventa una zuppa di elettroni, luce, quark e gluoni. Uno stato ancora poco conosciuto, nel quale si trovava, pare, l'universo nei primi istanti.

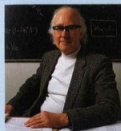
Condensazione e superconduttività

Ma torniamo alla realtà fatta di gas "normali" come aria e vapore. Che succede se, invece di alzare la temperatura, la abbassiamo? Le molecole, anziché disgregarsi, si aggregano per formare i liquidi: sostanze con un volume ben definito (a differenza dei gas), ma senza una forma. E così, sotto i 100 °C condensa il vapore; sotto i -56,6 °C si liquefà l'anidride carbonica; sotto i -268,92 °C, diventa liquido pure l'elio. Quando la temperatura è vicino allo zero assoluto (-273,15 °C), la materia cambia ancora faccia ed è caratterizzata da fenomeni "strani". Per esempio, l'elio diventa superfluido a circa -272 °C, ossia 1 grado sopra lo zero assoluto: scorre senza attrito, attraverso fori larghi appena un milionesimo di mm. Un altro fenomeno "freddo" è quello della superconduttività: sotto una temperatura di soglia, all'interno di alcuni metalli o ceramiche, la corrente scorre come un "superfluido", cioè senza dissipazioni. La superfluidità è però un'eccezione: di solito, quando la temperatura viene abbassata sotto un certo valore, la materia passa dallo stato liquido a quello solido, con forma e volume ben definiti. Ciò accade perché gli atomi si dispongono il più possibile l'uno vicino all'altro, cercando la sistemazione più stabile. In tutto, nei solidi sono catalogate ben 230 strutture. Esempi? Cubica (sodio), a piramide (diamante), esagonale (grafite). ❑

Vapori minacciosi
Le nubi sono composte da gas (in particolare vapore) e da minuscole gocce d'acqua.

Grandine in quota
Negli strati più alti e freddi dell'atmosfera, spesso si forma la grandine (stato solido).

Pioggia a catinelle
Le goccioline d'acqua che formano la pioggia sono un tipico esempio di liquido.

Scariche elettriche
Lampi e fulmini "strappano" elettroni all'aria, che diventa plasma.

Cercasi particella
Peter Higgs: una particella darebbe diverse masse ai diversi tipi di materia.

L'antigelo perfetto
Senza aumentare la pressione, l'elio (sopra) non diventa mai solido.

LE QUATTRO "FASI"

1 Nei solidi gli atomi sono fissi e, spesso, ordinati.

2 Nei liquidi gli atomi sono vicini tra loro.

3 Gli atomi dei gas si muovono liberamente.

4 Il plasma è un gas di elettroni e "ioni" (atomi senza elettroni).

MEMORIA
Una molla "a memoria di forma": a contatto con acqua calda, riacquista la forma originale.

MALLEABILITÀ
Lavorazione dell'argilla. Le polveri umide, grazie all'azione legante dell'acqua, sono malleabili.

Fragile o elastico? Questione di legami

Sono i legami chimici alla base delle varie proprietà: trasparenza, rigidità, colore...

Trasparente, fosforescente, elastica, flessibile, perfino capace di autoriprodursi... la materia ha infiniti aspetti, pur essendo composta da 3 sole particelle (elettroni, protoni e neutroni) che a loro volta formano appena un centinaio di elementi.

Da che cosa nasce questa varietà? Il segreto sta nel modo in cui elementi diversi (per esempio, idrogeno e ossigeno) si uniscono con legami chimici per formare composti (come l'acqua). I quali, a loro volta, oltre a potersi trovare in più stati (v. pagina precedente), possono condensarsi in grani o goccioline.

O, ancora, organizzarsi in ▶

▶cellule, tessuti, organi...
Alla fine, la complessità della materia è dovuta all'infinita varietà di modi in cui le forze elettriche agiscono sugli atomi, per unirli l'uno all'altro. Ma consideriamo qualche esempio concreto.

Trasparenza e riflettività

Se prendiamo in mano un gioiello, notiamo subito che, mentre le pietre preziose sono tagliate secondo precise geometrie, le parti in metallo sono forgiate nelle forme più varie.

Perché questa differenza? A causa delle difformità nella struttura atomica. I metalli, infatti, sono costituiti da una matrice di atomi disposti in maniera ordinata e regolare, nella quale gli elettroni si muovono liberamente come particelle di un gas. È questo gas omogeneo che "incolla" tra loro gli atomi, anche quando il materiale subisce una deformazione... un po' come l'argilla che, grazie all'acqua, diventa malleabile.

Il quarzo, invece, come molti altri cristalli, è fragile e rigido: non si deforma e tende a rompersi in mille pezzi. Perché, a differenza dei metalli, le molecole di ossido di silicio che lo formano si legano direttamente e in maniera rigida l'una all'altra.

Quando questi legami si rompono, la frattura si propaga rapidamente in direzioni ben precise: quelle di allineamento. È lo stesso principio per cui anche altri cristalli, come il diamante, vengono tagliati in direzioni ben precise prendendo forme geometriche.

Ma non solo i cristalli sono rigidi e fragili. Il vetro, per esempio, è formato come il quarzo da molecole di ossido di silicio, ma disposte in maniera disordinata. In questo caso, la frattura si propaga a zig-zag, sfruttando i punti dove i legami sono più deboli.

Che vetro, quarzo e diamante siano trasparenti non è affatto un caso: in questi materiali rigidi, la luce si propaga senza smuovere gli elettroni che formano i legami chimici.

Nei metalli, al contrario, gli elettroni sono liberi di muoversi: quando li colpisce un'onda elettromagnetica come la luce (ma anche le microonde), essi si mettono a oscillare alla stessa frequenza e generano così un'onda riflessa.

I materiali più comuni, invece, non sono né trasparenti né riflettenti, ma assorbono ed emettono solo alcune frequenze (colori): quelle che corrispondono a precisi livelli atomici.

Altri materiali, detti fosforescenti, sono addirittura in grado di accumulare energia al loro interno, e di rilasciarla un po' alla volta sotto forma di luce.

ROTTURA
Rottura di un bicchiere. Il vetro è "fragile" (si rompe senza deformarsi), perché i legami chimici tra le sue molecole si rompono a zig-zag, nei punti più deboli.

LUMINOSITÀ
Un polpo fosforescente del Mar Rosso. La luminosità, tipica di alcune specie marine, è causata da molecole che convertono energia chimica in luce.

L'"ALBERO" DELLA MATERIA

MATERIA → SOSTANZE PURE, MISCUGLI, ESSERI VIVENTI
SOSTANZE PURE → ELEMENTI (ALLUMINIO), COMPOSTI (SALE)
ESSERI VIVENTI → VEGETALI, ANIMALI
MISCUGLI → SOLUBILI (TÈ), COLLOIDI (LATTE, BURRO), SOSPENSIONI (FANGO), MEZZI GRANULARI (GRANITO, TERRA)

Le "classificazioni" della materia: 1. Elementi (tutti gli atomi uguali); 2. Composti (con molecole fatte di atomi diversi); 3. Miscugli (con particelle eterogenee, di dimensioni crescenti dalle soluzioni ai mezzi granulari). 4. Viventi (capaci di riprodursi).

Proprietà ottiche ed elettriche

Se le proprietà ottiche sono dovute alle oscillazioni degli elettroni, le proprietà elettriche dipendono dal loro flusso: è per questo che i metalli sono ottimi conduttori di corrente, mentre i cristalli non conducono elettricità. Sono isolanti, in generale, le ceramiche, la plastica e i tessuti vegetali. Quanto alla terra, essa è formata da grani cristallini, ma anche da metalli e sali: di conseguenza conduce, anche se non benissimo, la corrente elettrica.

Oltre alle proprietà elettriche, la materia ha anche proprietà magnetiche, generate sia da cariche elettriche (elettroni e protoni) in movimento, sia da una sorta di "carica magnetica" detta *spin*, di cui sono dotati protoni, elettroni e neutroni. Il primo caso è quello degli elettromagneti, mentre il secondo è quello delle calamite, in cui il magnetismo è causato dall'allineamento degli *spin* a livello microscopico. Alcune proprietà sono invece comuni a tutti i materiali solidi. Per esempio l'elasticità, cioè la proprietà di riacquistare la propria forma in seguito alle deformazioni subite. Ma ci sono materiali che possono subire solo deformazioni minime e altri che si possono allungare elasticamente fino a raddoppiare le proprie dimensioni.

I cristalli sono un ottimo esempio di materiali rigidi... anche se non totalmente: gli orologi al quarzo, per esempio, funzionano proprio grazie a vibrazioni elastiche precisissime.

ISOLAMENTO
Fili di rame, ricoperti da un rivestimento isolante in plastica, che argina il flusso di elettroni.

Ruggini e fiamme alla base della vita

I normali elastici in caucciù o fibre sintetiche, invece, sono formati da lunghe molecole arrotolate che, se tirate, si srotolano, ma appena possono tornano alla lunghezza originaria.

Gli "elastici" più strani sono quelli a "memoria di forma": anche se deformati, tornano alla forma iniziale appena si ripristina la giusta temperatura.

Molti materiali cambiano anche la propria natura per via di reazioni chimiche con l'ambiente. La ruggine e le fiamme sono generate da processi chimici tramite i quali gli atomi si legano tra loro per formare composti più stabili. La ruggine si forma quando un metallo viene a contatto con l'aria: l'ossigeno si lega agli atomi di metallo "rubandogli" elettroni.

Un fenomeno simile, ma molto più violento, è quello della combustione: anche le reazioni chimiche che producono la fiamma sono reazioni di ossidazione, ma producono tanta energia da innalzare la temperatura a più di 1.000 °C.

Altre reazioni chimiche importantissime sono quelle che portano alla formazione di carboidrati: molecole complesse costituite da carbonio e idrogeno che sono alla base della vita. È su queste molecole che si fonda la complessa architettura delle cellule, che a loro volta si uniscono nei tessuti, per poi formare gli organi che costituiscono gli esseri viventi.

In questo gioco di crescente complessità, quando scatta il meccanismo che dà origine alla vita? Secondo alcuni, la risposta non arriverà mai. Non è detto, in fondo, che tutti gli aspetti della materia siano comprensibili. ❑

La materia allo specchio: positroni e anti-atomi

L'idea nacque nel 1930, quando il fisico inglese Paul Dirac decise di unificare due teorie apparentemente inconciliabili: la relatività (ristretta) di Einstein e la meccanica ondulatoria. Dirac arrivò così a un'equazione capace di descrivere il movimento degli elettroni.
Ma c'era una stranezza: l'equazione prevedeva due soluzioni, così come esistono due numeri (+2 e -2) che elevati al quadrato danno 4.
Positroni. La soluzione negativa non era un semplice artificio matematico: l'esistenza di questo "antielettrone", o "positrone", dotato di carica positiva, fu poi confermata sperimentalmente un anno dopo.
Oggi sappiamo che per ogni particella esiste un'antiparticella a essa "speculare". E quando materia e antimateria vengono a contatto, il risultato è che si annullano a vicenda, producendo grandi quantità di luce.
Negli acceleratori di particelle sono stati perfino creati atomi di "anti-idrogeno". E in molti pensano a futuristici motori ad antimateria che avrebbero un'efficienza del 100 per cento. Produrre antimateria, però, è ancora enormemente costoso.

L'esperimento del Cern che ha prodotto i primi anti-atomi.

Perché il vetro è trasparente?

Il vetro si fabbrica facendo fondere la sabbia e raffreddandola. La sostanza che se ne ricava ha una struttura molecolare poco organizzata, quasi come un liquido, che lascia ampi "interstizi" per il passaggio dei raggi di luce.

Filtro. Gli atomi di silicio del vetro, inoltre, quando sono colpiti dalla luce assorbono solo alcune lunghezze d'onda (in particolare gli ultravioletti, che noi non vediamo) e lasciano passare quelle che corrispondono alla luce visibile. Il coefficiente di trasparenza di un corpo, cioè il rapporto tra la quantità di energia luminosa che lo attraversa e quella totale che lo investe (la rimanente parte venendo assorbita o riflessa), dipende infatti dalla natura del materiale e cambia, in genere, per le diverse lunghezze d'onda. ❑

Attenti che vi vedo! Un gatto tiene d'occhio i pesciolini di un acquario. Se il vetro assorbisse la luce visibile, anziché lasciarsi attraversare da essa, il micio non potrebbe pregustarsi il possibile spuntino.

È possibile il teletrasporto?

Il teletrasporto è la norma, in *Star Trek*.

A essere trasferiti col teletrasporto non sono i singoli atomi di un corpo, ma le informazioni sulla posizione e lo stato fisico di ciascuno di essi. Un po' come un fax a 3D, che però distrugge l'originale nel processo di lettura. Nel 1997 è stata confermata in laboratorio la possibilità di teletrasportare fotoni (particelle di luce). È da poco è stato dimostrato teoricamente che la stessa tecnica si può applicare a interi atomi. Ma da qui a trasferire tutti i 15 miliardi di miliardi di atomi che compongono un essere umano ce ne passa.
Attesa. Inoltre la trasmissione delle istruzioni per "ricostruire" il corpo non sarebbe propriamente istantanea. Per completare l'operazione, infatti, serve un segnale di "conferma", che viaggia alla velocità della luce. Pertanto il teletrasporto non è compiuto fino all'arrivo di questo messaggio, e la teoria della relatività (secondo cui nulla può spostarsi più veloce della luce) è salva.

Perché lo specchio non inverte alto e basso?

Un gioco di specchi
Una doppia riflessione e destra e sinistra non sono più scambiate.

In realtà non scambia neppure la destra con la sinistra. Quello che lo specchio fa (e che viene spiegato dalle leggi della riflessione ottica) è invertire il davanti con il dietro dell'immagine o, meglio, il dentro con il fuori.
Ribaltamento. Per capire questo concetto, immaginiamo di tenere sul viso una maschera di gomma, come quelle di carnevale. Ora allontaniamo la maschera dal viso e rivoltiamola su se stessa, schiacciando in dentro naso e mento e tirando in fuori le orecchie. Adesso la maschera apparirà rivolta verso di noi, identica a prima, ma con tutte le caratteristiche invertite: quel neo sulla guancia destra è ora a sinistra, e il bitorzolo sulla sinistra della fronte è "migrato" a destra. ❑

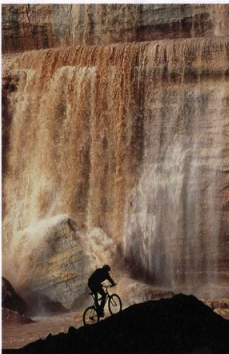
Come nasce un atomo?

Un tipico atomo con gli elettroni che orbitano intorno al nucleo.

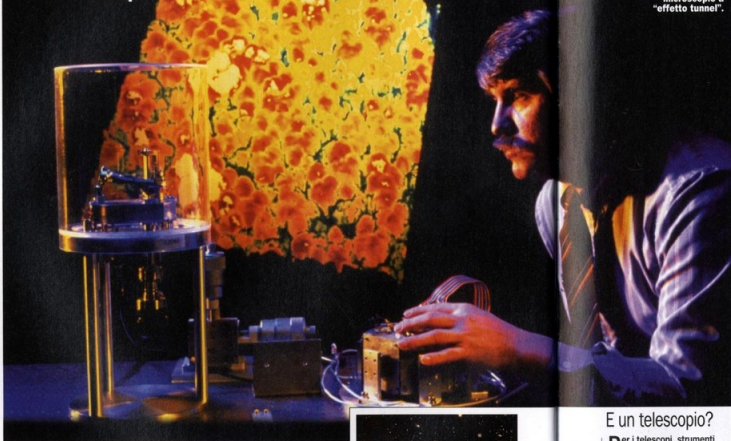
Per mezzo di reazioni di fusione nucleare all'interno delle stelle. Il primo passo è la trasformazione dei nuclei di idrogeno (l'elemento più leggero), formati da un solo protone, in nuclei di elio (formati da due protoni e due neutroni): è questa la reazione principale che fa brillare gli astri.
Supernova. In seguito, se la stella è abbastanza grande, produrrà nuclei sempre più pesanti: carbonio, ossigeno, neon e così via, fino al ferro. A questo punto le reazioni nucleari si interrompono e la stella collassa sotto l'effetto del suo peso, generando un'immensa implosione detta supernova. Nella fase di compressione, si formano tutti gli elementi più pesanti del ferro, fino all'uranio. La successiva fase di esplosione riversa poi tutti gli elementi pesanti nello spazio.
Siamo polvere di stelle. Subito dopo la nascita dell'universo, circa 13 miliardi di anni fa, esistevano solo atomi leggeri come idrogeno ed elio. Tutto il resto si è formato nelle supernovae.

Il suono viaggia più veloce se soffia il vento?

Sì, perché il suono è composto da vibrazioni di pressione che si propagano nell'aria e possono quindi essere trasportate dal vento. La differenza di velocità, in realtà, è molto piccola: il suono viaggia a circa 1.200 km/h, mentre il vento potrebbe incrementare questa velocità al massimo di 100 km/h circa. Il motivo per cui percepiamo meglio i rumori se ci troviamo sottovento, però, è un altro.
Curva "sonora". La velocità del vento cresce quanto più ci si allontana dal suolo. Ciò ha come conseguenza quella di curvare la "traiettoria" seguita dalle onde sonore. Quelle che si muovono nella direzione del vento curvano verso il basso, dirigendosi quindi verso l'ascoltatore, che le percepisce più nettamente; quelle che invece viaggiano nella direzione opposta curvano all'insù, disperdendosi verso l'alto.

Come tira il vento
In un centro di ricerca francese si osserva il comportamento del vento sul modellino di uno stadio.

Perché è più faticoso pedalare in salita piuttosto che spingere la bici?

Pedalando in salita, al vento e all'attrito del suolo che rallentano la bici come in pianura, si deve aggiungere la forza di gravità, che tende a spingere indietro la bicicletta e il corpo del ciclista. Smontando dalla bici, quest'ultima forza è invece meglio contrastata dall'attrito delle suole sul terreno.
Mountain bike. Bisogna anche aggiungere che utilizzare in montagna i rapporti usati in pianura equivarrebbe a voler correre in salita, perché una bicicletta normale (con i rapporti "classici") corre ad almeno 8-9 chilometri all'ora, contro i 4-5 chilometri all'ora di una camminata. Usare rapporti più corti, come quelli delle mountain bike, permette di salire più lentamente e fare quindi meno fatica.

Che dettagli può arrivare a vedere un microscopio?

Un ricercatore osserva la superficie dell'oro, ingrandita fino a scorgerne gli atomi, da un microscopio a "effetto tunnel".

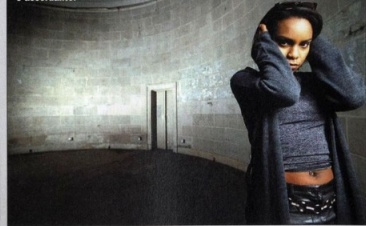
Il grado della prestazione è indicato dalla "risoluzione", cioè la distanza minima tra i dettagli di un oggetto che lo strumento è in grado di evidenziare. Tale risoluzione non è legata solo alla qualità dello strumento, ma anche a fattori intrinseci all'osservazione stessa. Per esempio i microscopi ottici, che focalizzano i raggi luminosi con sistemi di lenti, possono al massimo raggiungere risoluzioni confrontabili alla lunghezza d'onda della luce (un milionesimo di metro), circa un millesimo dello spessore di una pagina di giornale.

Elettronici. Prestazioni migliori si ottengono con i microscopi elettronici (a emissione di campo, a effetto tunnel o di altro tipo) con i quali sono raggiungibili risoluzioni pari a un miliardesimo di metro, la dimensione tipica di un atomo. ❑

Lontanissime galassie fotografate dal telescopio spaziale Hubble.

E un telescopio?

Per i telescopi, strumenti ottici formati da sistemi di lenti e/o specchi, la risoluzione è la minima separazione angolare tra due oggetti affinché li si riconosca come distinti, ed è proporzionale al diametro della lente (o specchio) che raccoglie la luce. Oggi i telescopi potrebbero distinguere, da Roma, i bordi di una moneta da 1 euro che si trovasse a Londra.

Quando il vuoto è assordante.

Perché le stanze vuote sono così rumorose?

Perché, mentre in una stanza piena gli oggetti che essa contiene (armadi, tappeti, tende) assorbono le onde acustiche, in una vuota le pareti riflettono le onde acustiche, creando un rimbombo. Se la stanza è grande quanto basta, le onde riflesse giungono all'orecchio con un ritardo sufficiente perché questo le distingua dalle originali e le percepisca come eco.

Perché di notte si formano le bollicine nel bicchiere?

Le bollicine di gas in un bicchiere d'acqua lasciato fermo per qualche ora si formano in virtù della legge di Henry: «La solubilità di un gas nell'acqua è inversamente proporzionale alla temperatura e direttamente proporzionale alla pressione». Quando l'acqua esce dalla bottiglia, o dal rubinetto di casa, la pressione su di essa scende, mentre la sua temperatura sale. La solubilità allora diminuisce e i gas si condensano in bollicine, che si "aggrappano" alle piccolissime asperità che si trovano sulle pareti del bicchiere.

L'acqua piena di bollicine in una scodella lasciata ferma per qualche ora.

Che cos'è la luce?

Gran parte delle informazioni sul mondo che ci circonda sono portate dalla luce. Ma la luce stessa che cos'è? Un gas? Una vibrazione? O una forma di energia? Ecco quali sono le certezze finora raggiunte dalla scienza.

Si parla spesso di luce "visibile", per distinguerla da altri tipi di radiazione elettromagnetica non percepibili dall'occhio umano. In realtà, ciò che noi vediamo non è la luce, ma il modo in cui un certo tipo di radiazione interagisce con gli oggetti che ci circondano. Ogni studio sulla luce deve dunque essere indiretto, cioè basarsi su ciò che accade alla luce quando essa incontra la materia. Il guaio è che questi fenomeni sono spesso contraddittori. Ecco perché gli scienziati hanno continuato a chiedersi per secoli se la luce fosse un "gas" composto da particelle piccolissime e molto veloci, oppure se fosse la vibrazione di una sostanza impalpabile detta "etere" (v. riquadro nelle prossime pagine). Per scoprire, alla fine, che entrambe le ipotesi erano incomplete.

Dalla teoria all'energia

Pannelli solari. Per trasformare la luce del Sole in elettricità sfruttano l'effetto fotoelettrico. Grazie a questo fenomeno (spiegato da Einstein nel 1905) si scoprì il fotone.

Riflessione e rifrazione

Ma che cos'accade esattamente alla luce quando incontra la materia? La risposta è complessa, perché i fenomeni cambiano molto a seconda delle condizioni: nell'aria, per esempio, la luce si diffonde, mentre nei corpi solidi viene assorbita, ma può anche rimbalzare. Vediamo in quale ordine sono stati scoperti i vari fenomeni.

Nell'antichità, fino a tutto il Medioevo, erano noti i fenomeni della riflessione, della rifrazione (ovvero la deviazione che la luce subisce quando passa da un corpo trasparente a un altro) e poco altro. Si era capito che i raggi luminosi viaggiano in linea retta e si ipotizzava che fossero costituiti da corpuscoli emessi, secondo alcuni, dagli oggetti luminosi, secondo altri addirittura dall'occhio stesso. Era dunque inevitabile pensare alla luce come a qualcosa di corpuscolare, costituito cioè da particelle. Isaac Newton ne era convinto, e spiegava la riflessione come un fenomeno nel quale le particelle rimbalzano su una superficie come palline. Contemporaneamente, giustificava la rifrazione come una conseguenza della variazione di velocità delle particelle di luce quando passavano da una sostanza a un'altra (un'ipotesi che si è rivelata essenzialmente corretta).

Molti enigmi, però, attendevano ancora risposta. Come l'esistenza dello "spettro" della luce, anch'esso scoperto da Newton. Lo scienziato aveva infatti notato che la luce solare, passando attraverso un prisma di vetro, si scomponeva in vari colori. Com'era possibile? E come si spiegava il fatto che due o più fasci di luce colorata potevano sovrapporsi, ripassando in un prisma opportuno, e riformare un unico raggio bianco? Infine: perché le particelle che formano la luce azzurra si rifrangono diversamente da quelle della luce rossa quando attraversano un liquido?

La luce è un'onda - Prova N. 1

Come cerchi nell'acqua

Ecco una prova delle proprietà ondulatorie della luce: se un raggio monocromatico attraversa un foro di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda, si genera una serie di aloni concentrici. Il fenomeno è detto "diffrazione".

Quando l'onda fa le curve

Per avere una parziale risposta a queste domande bisogna attendere il 1666, quando il fisico olandese Christiaan Huygens ipotizzò che ▶

la luce fosse costituita da onde piccolissime, e che i diversi colori fossero dovuti alla differenza di lunghezza d'onda (la lunghezza d'onda è la distanza tra due "creste" o due "ventri" successivi di un'onda).

L'idea che la luce fosse costituita da onde, insomma, non era in contraddizione né con la riflessione né con la rifrazione e aveva il vantaggio di spiegare fenomeni come la scomposizione in colori. Purtroppo, faceva anche nascere nuove domande. Per esempio: perché la luce, se è fatta di onde, non aggira gli ostacoli come fanno le onde sonore o le onde dell'acqua? Le onde, inoltre, sono vibrazioni. Per le onde sonore è l'aria a vibrare, ma per la luce? Si ipotizzò addirittura l'esistenza del fantomatico etere, la sostanza sottilissima e impalpabile di cui tutto l'universo sarebbe stato pieno. Nessuna teoria, dunque, appariva completa, così entrambe - quella corpuscolare e quella ondulatoria - rimasero in auge fino al XIX secolo, quando alcuni esperimenti e nuove teorie sembrarono far pendere la bilancia dalla parte della teoria ondulatoria.

Fu in quell'epoca, infatti, che il francese Augustin Jean Fresnel dimostrò che la luce aggira gli ostacoli dando origine alla diffrazione (si parla di diffrazione quando i raggi luminosi non viaggiano in modo del tutto rettilineo, e penetrano in zone che dovrebbero essere in ombra).

SETTE UOMINI PER LA LUCE

Isaac Newton
(1642-1727)
Fu tra i primi a studiare la natura della luce, sostenendo l'ipotesi corpuscolare. Scoprì la scomposizione nei colori dell'iride.

Christiaan Huygens
(1629-1695)
Fisico olandese, formulò la prima teoria ondulatoria della luce, poi perfezionata da Fresnel, spiegando i colori con la differenza di lunghezza d'onda.

Augustin Jean Fresnel
(1788-1827)
Fisico francese. Perfezionò la teoria ondulatoria, nota anche come "teoria di Huygens-Fresnel" e studiò i fenomeni di interferenza.

Thomas Young
(1773-1829)
Fisico inglese. Capì che ogni colore si può ottenere miscelando tre colori di base. E dimostrò che i raggi luminosi si possono rafforzare o indebolire.

James Clerk Maxwell
(1831-1879)
Fisico inglese. Capì per primo che le onde luminose erano un particolare tipo di onde elettromagnetiche.

Max Karl Planck
(1858-1947)
Fisico tedesco. Intuì per primo che l'energia esiste sotto forma di "pacchetti", che furono chiamati "quanti".

Albert Einstein
(1879-1955)
Spiegò l'effetto fotoelettrico con l'esistenza dei "quanti di luce", che in seguito furono battezzati fotoni.

Un effetto misterioso

Nella vita di tutti i giorni è difficilissimo osservare questo fenomeno perché si manifesta solo su dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda della luce, e neppure l'onda "rossa", che pure è la più lunga nello spettro visibile, supera gli 0,75 millesimi di millimetro, meno del più piccolo dei batteri. La diffrazione è in realtà un "effetto collaterale" di un altro fenomeno, rivelato dal fisico inglese Thomas Young: la capacità della luce di "interferire". Young dimostrò che i raggi luminosi si possono rafforzare o indebolire quando si sovrappongono, e questo è un fenomeno caratteristico delle onde, non certo dei corpuscoli. La teoria ondulatoria, inoltre, dava modo di ipotizzare l'esistenza di altre radiazioni della stessa natura della luce, con lunghezza d'onda più corta di quella del violetto o più lunga di quella del rosso. La successiva scoperta di radiazioni per le quali l'occhio umano non ha recettori (dai raggi ultravioletti ai raggi X) aggiunse forza all'ipotesi ondulatoria.

Nonostante questi passi avanti, la domanda "cos'è la luce?" non aveva ancora una risposta definitiva. Colpa anche di una scoperta come quella che fruttò il premio Nobel ad Albert Einstein: lo stranissimo "effetto fotoelettrico". Il fenomeno era stato osservato per la prima volta dal fisico Wilhelm Hallwachs nel 1888, e consisteva nella capacità della luce di "estrarre" elettroni da alcune superfici, producendo una corrente elettrica. Il fatto inspiegabile era che solo la luce di una ben precisa frequenza manifestava questa capacità. Insomma, cambiando il colore della luce (come abbiamo visto, infatti, il colore della luce dipende dalla frequenza) non veniva più emesso alcun elettrone, qualunque fosse l'intensità della luce incidente. Il fenomeno fu studiato accuratamente da un altro grande scienziato dell'epoca, Heinrich Hertz, e ben presto se ne conobbero le caratteristiche con abbondanza di dettagli... ma il modello ondulatorio della luce non era in alcun modo in grado di spiegare perché accadesse.

Un primo indizio lo fornì l'intuizione del fisico tedesco Max Planck, che nel 1900 propose l'esistenza del "quanto" di energia. Cioè del fatto che l'energia non può assumere tutti i valori possibili, ma varia per "salti". Se l'energia fosse acqua, per esempio, una bottiglia potrebbe contenere un quanto di acqua, o due quanti... ma non un quanto e mezzo.

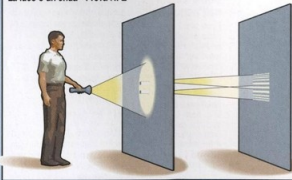
Albert Einstein partì dall'intuizione di Planck e andò oltre: nel 1905 (lo stesso anno in cui veniva pubblicata la teoria della relatività ristretta) Einstein pubblicò infatti anche un articolo nel quale teorizzava l'esistenza di "pacchetti" di luce, che contenevano un'energia legata solo alla frequenza.

In seguito, questi pacchetti di luce sarebbero stati battezzati fotoni.

Il premio Nobel fotoelettrico

A questo punto non era difficile spiegare l'effetto fotoelettrico: per strappare gli elettroni c'era bisogno di una precisa quantità di energia, quindi di fotoni con una frequenza superiore a una certa soglia. Quelli meno energetici non avevano effetto, per quanti ne arrivassero, perché ogni elettrone assorbe solo un fotone alla volta.

Una curiosità: la teoria della relatività aveva molti avversari nel mondo scientifico, e così, benché quasi ogni anno Einstein venisse candidato per il premio Nobel, il riconoscimento andava sempre a qualcun altro. Alla fine, nel 1922, il Nobel arrivò... ma ecco l'ultimo smacco: nella motivazione non veniva citata la teoria della relatività, bensì la spiegazione data da Einstein

La luce è un'onda - Prova N. 2

Una somma distruttiva
Un'altra prova che la luce è un'onda: luce coerente che passa attraverso due fenditure crea zone di luce alternate a zone d'ombra. Perché? Per l'interferenza distruttiva: se infatti le onde sono sfasate, si annullano vicendevolmente.

Lampadine naturali
Un piccolo sciame di lucciole. Producono luce grazie all'ossidazione di una sostanza chimica, la luciferina.

Diodi: usano la capacità degli elettroni di emettere luce quando passano a un'energia più bassa.

Test di lunga durata
Un test su tubi fluorescenti. In essi, una scarica eccita un gas. Questo emette raggi UV che a loro volta fanno emettere luce visibile a sostanze dette "fosfori".

dell'effetto fotoelettrico.

La luce, dunque, si può immaginare come un fascio di particelle (i fotoni) la cui energia è tanto maggiore quanto maggiore è la frequenza.

Due modelli al prezzo di uno

In realtà il contenuto energetico di ciascun fotone è piccolissimo, anche se in un "raggio di luce" ce ne sono talmente tanti che il trasporto globale di energia può essere notevole, come dimostra la sensazione di calore che sentiamo sulle spalle in una giornata primaverile. Per concludere, la luce può essere descritta con entrambi i modelli, quello ondulatorio (utile soprattutto nel regno dell'ottica, quando si parla di formazione delle immagini) e quello corpuscolare (più adatto quando è in gioco uno scambio di energia con la materia).

Conviene infatti osservare che, per la maggior parte delle applicazioni macroscopiche (cioè quelle che non riguardano il regno dell'infinitamente piccolo), la luce ha un comportamento che segue molto da vicino le regole stabilite dagli scienziati dell'antichità. Con una sola eccezione: la velocità di propagazione non è infinita, ma vale 299.792,458 chilometri al secondo.

Le applicazioni pratiche

Le onde luminose si propagano in linea retta, cioè come "raggi". Quando passano attraverso un vetro o una lente, il loro cammino può cambiare direzione oppure proseguire nella direzione originaria, ma ciò avviene sempre in linea retta. Una lente convessa, per esempio, devia i raggi di luce che la colpiscono, verso uno stesso punto detto "fuoco".

È questo il principio sul quale si basano strumenti ottici quali il cannocchiale, il microscopio, la lente d'ingrandimento o anche i semplici occhiali.

Con questo argomento, entriamo però nel mondo dell'ottica geometrica. Dove ogni considerazione sulla natura della luce verrà (momentaneamente) abbandonata, per tenere conto esclusivamente delle sue proprietà ondulatorie. ❑

L'etere, il mezzo inesistente

Se la luce è un'onda, qual è la sostanza in cui si propaga? In passato sembrava infatti impossibile che un'onda si propagasse nel vuoto, così nel XVII secolo Christiaan Huygens suggerì che l'universo fosse permeato di una sostanza detta etere.

Utile fallimento. L'etere doveva essere elastico (per poter vibrare), imponderabile, trasparente e infinitamente rigido (per consentire alla luce una velocità infinita). Alla fine dell'Ottocento i fisici Albert Michelson e E.W. Morley idearono un esperimento per dimostrarne l'esistenza. L'esperimento fallì, ma diede strani risultati: la luce sembrava infatti avere una velocità assoluta. Era il primo seme della futura teoria della relatività di Albert Einstein.

Stesso colore
La luce laser è monocromatica, coerente, molto potente e con un fascio precisissimo.

Quali sono le leggi della luce?

Per semplicità si può pensare alla luce come se fosse composta da raggi che viaggiano in linea retta. Ma anche così, la luce manifesta proprietà a volte stravaganti.

Quando la luce, ma più in generale le radiazioni, colpiscono un oggetto possono verificarsi vari fenomeni a seconda della natura del corpo interessato. Vediamo quali sono i principali, dai più noti (come la riflessione) a quelli più bizzarri come la diffusione (che è all'origine dell'azzurro del cielo) o la polarizzazione.

La lucentezza dei diamanti

Quando la luce attraversa un diamante, per esempio, viene fortemente deviata (e anche scomposta nei suoi diversi colori) rispetto alla direzione del raggio di luce incidente.

Ciò dà origine alla brillantezza e luminosità della pietra preziosa. Il diamante è trasparente e quindi viene attraversato dalla luce. Ma nell'attraversarlo, la luce cambia direzione: è il fenomeno della rifrazione, lo stesso che si manifesta quando la luce passa dall'aria all'acqua. L'origine della deviazione è la variazione della velocità della luce: è come se il raggio frenasse cambiando direzione. Infatti la deviazione è tanto più grande quanto maggiore è il cambiamento di velocità.

Resta una domanda: dal momento che la luce ha sempre la stessa velocità, qualunque sia il suo colore, perché un raggio bianco viene scomposto nei suoi colori fondamentali quando attraversa un diamante o un prisma di vetro? La risposta è che la rifrazione non dipende solo dalla velocità relativa nei due mezzi, ma anche dalla lunghezza d'onda: ogni colore ha dunque un diverso "indice di rifrazione", variabile da quello ▶

A DUE LIVELLI — La luce "pompata": ecco il laser

Le caratteristiche della luce laser sono la monocromaticità (è tutta luce dello stesso colore), la corerenza (cioè tutti i fotoni oscillano insieme), l'elevata potenza e la precisione del fascio.

Luce stimolata. La parola nasce dalle iniziali di "light amplification by stimulated emission of radiation" (amplificazione della luce mediante emissione stimolata di radiazione). Ma come si produce la luce laser? Un atomo, generalmente, si trova al suo livello minimo di energia. Se viene stimolato con elettricità o luce si porta a un livello energetico superiore, nel quale rimane per un certo tempo prima di emettere un fotone di un'energia pari alla differenza tra i due livelli. Se prima del ritorno allo stato normale l'atomo è bombardato con un altro fotone che ha l'energia del salto, emette un altro fotone identico. Questo tipo di emissione, definita "stimolata", crea una reazione a catena (alimentata da energia esterna, secondo un meccanismo detto "pompaggio") che produce il raggio finale.

1. Dispersione della luce
La luce bianca si disperde nei suoi diversi colori in un prisma di vetro.

2. Diffusione della luce
Quando i raggi arrivano obliqui, anche i raggi rossi (lenti a diffondersi) hanno il tempo di colorare l'aria.

Lente umana
La struttura interna del cristallino, la lente biologica dell'occhio umano.

Strato esterno di cellule epiteliali cuboidali.

Cellule allungate e prive di nucleo (fibre lamellari).

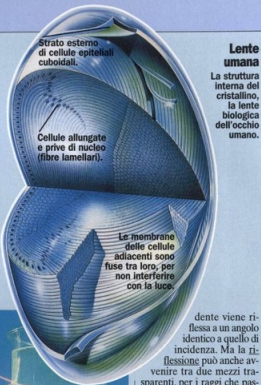
Le membrane delle cellule adiacenti sono fuse tra loro, per non interferire con la luce.

3. Rifrazione e riflessione
Il raggio incidente viene in parte riflesso e in parte rifratto al suo incontro con la superficie della brocca d'acqua.

▸che viene deviato di più (il violetto) a quello che subisce l'effetto minore (il rosso). Il fenomeno si chiama dispersione della luce. È chiaro allora perché si usa un prisma di vetro per mettere in evidenza la scomposizione della luce bianca: i raggi di diversa frequenza si separano quando attraversano la prima interfaccia aria-vetro, e si separano di più quando attraversano la seconda interfaccia vetro-aria, che è ad angolo retto rispetto alla prima.

La rifrazione raddoppia

A volte, però, la luce subisce una doppia rifrazione pur attraversando un solo oggetto. Si tratta di un fenomeno poco noto perché piuttosto raro: si manifesta infatti solo in particolari cristalli come la calcite o lo spato d'Islanda. Si chiama birifrazione e consiste in una specie di sdoppiamento del raggio luminoso. Uno dei due raggi segue le normali leggi della rifrazione, l'altro rispetta regole più complesse, che dipendono dalla struttura del cristallo.

Alcune sostanze, infatti, sono "anisotrope", presentano cioè proprietà differenti in diverse direzioni. In materiali di questo tipo, la velocità con la quale si propaga la luce dipende anche dalla direzione di propagazione. Un po' come se noi dovessimo spostarci in un campo coltivato a grano, con le spighe disposte in lunghe file: passando nei "corridoi" tra le spighe, la velocità risulta maggiore che non incocciando le file di spighe.

Esistono però anche corpi che non si lasciano attraversare dalla luce. In essi, la luce viene o riflessa o assorbita (corpi opachi).

Il primo caso si presenta con gli specchi, nei quali la maggior parte della luce incidente viene riflessa a un angolo identico a quello di incidenza. Ma la riflessione può anche avvenire tra due mezzi trasparenti, per i raggi che passano da un mezzo più denso a uno meno denso. Infatti, se in un caso del genere un raggio arriva molto radente, può accadere che la deviazione prevista dalle leggi della rifrazione sia maggiore dell'angolo di incidenza. A questo punto, per penetrare nella sostanza trasparente, il raggio dovrebbe violare le leggi della rifrazione. Questo non accade e il raggio viene invece riflesso: questo fenomeno si chiama riflessione totale e ha trovato una importante applicazione tecnologica nelle fibre ottiche (v. riquadro nella prossima pagina). In esse, la luce viaggia all'interno di fibre trasparenti del diametro di qualche millesimo di millimetro, sfruttando proprio il fatto che la luce non può evadere dal vetro disperdendosi nell'aria circostante a causa della riflessione totale. Il secondo fenomeno che si manifesta quando la luce incontra corpi non trasparenti è quello dell'assorbimento: la luce cede la sua energia alle molecole superficiali del corpo, e lo riscalda. Tutto qui? No, perché raramente tutta la luce incidente viene assorbita. Nella maggior parte dei casi, infatti, una parte della luce viene riflessa in tutte le direzioni. E proprio in questo modo nascono i colori: se la parte di luce riflessa è prevalentemente della lunghezza d'onda del verde, il corpo è verde, e così via. Se invece la luce è riflessa tutta, senza preferenze, il corpo appare bianco. Infine, se la maggior parte della luce è assorbita, il corpo appare nero.

Finora si è parlato di corpi solidi, ma che cos'accade alla luce nei gas? Il fenomeno più rilevante è quello della diffusione: le molecole del gas deviano i raggi in tutte le direzioni, ed è per questo che il cielo ci appare di una luminosità uniforme. Se così non fosse, vedremmo una luce puntiforme intensissima (il Sole) e la luminosità riflessa dalle varie superfici colpite da questa luce. Ancora una volta, però, il modo in cui avviene la diffusione cambia con la lunghezza d'onda della luce: la diffusione aumenta con la quarta potenza della lunghezza d'onda. In pratica, il colore azzurro si diffonde circa dieci volte meglio del rosso, ed è per questo che il cielo non è bianco.

Lampade al quadrato
Un ricercatore valuta l'emissione luminosa di una lampada piatta "Planon". Dello spessore di 1 cm, questa lampada vive il doppio di quelle tradizionali.

Interferenza e diffrazione sono stati argomenti che hanno dato alla teoria ondulatoria della luce una conferma fondamentale. Quando un fascio luminoso monocromatico attraversa una fenditura piccolissima, di dimensioni paragonabili a quelle della sua lunghezza d'onda, i bordi della fenditura diventano a loro volta sorgenti di onde, generando complessivamente un fronte d'onda fatto di numerose componenti elementari (diffrazione).

Se la luce viene fatta passare attraverso una coppia di fenditure e poi proiettata su uno schermo, i fronti d'onda che passano da ciascuna fenditura si sovrappongono, dando luogo al fenomeno dell'interferenza: nei punti di sovrapposizione tra due creste d'onda l'intensità luminosa si somma producendo un massimo di luminosità (interferenza costruttiva); nei punti di sovrapposizione tra creste e ventri, invece, sullo schermo si osservano zone meno luminose o addirittura buie (interferenza distruttiva). Le figure risultanti sono chiamate "frange d'interferenza".

Che cos'è la polarizzazione

Agli inizi degli anni '70 si affermarono gli occhiali da sole "polarizzati", che eliminavano i riflessi prodotti dalle lenti normali. Qual era il loro segreto? La luce solare è costituita da onde che vibrano perpendicolarmente alla direzione di propagazione. Cioè, per esempio, da destra a sinistra, dall'alto in basso, da nord-est a sud-ovest... Se si fa in modo che le onde vibrino solo in una direzione prefissata, per esempio dall'alto in basso, l'onda risulta "polarizzata". Gli occhiali polaroid erano appunto dei semplici polarizzatori: bloccavano tutta la luce che non oscillava in verticale, escludendo gran parte della luce riflessa, come quella proveniente dalla superficie di uno stagno, che risulta generalmente polarizzata in senso orizzontale. ❑

Il segreto delle fibre ottiche: miliardi di bit al secondo

Il vostro computer è lento a connettersi in rete? Le cose stanno cambiando con le fibre ottiche, lunghi fili di vetro che conducono la luce da un capo all'altro senza dispersioni. Questo è possibile grazie al principio della riflessione interna (o totale): se il raggio dentro la fibra raggiunge la superficie formando un angolo molto piccolo, allora non può essere rifratto, ma solo riflesso. Le fibre ottiche più avanzate, poi, sono così sottili che in esse la luce non può nemmeno rimbalzare e si propaga solamente in una direzione, quella della fibra.

Sgocciolio? Qualche piccola perdita, però, c'è sempre, a causa delle piccole imperfezioni che inevitabilmente si trovano nel vetro. Per rafforzare il segnale, bisogna quindi inserire nella linea, ogni 80 km circa, un amplificatore. Che può essere un tipo particolare di fibra ottica, in cui sono inseriti atomi dell'elemento chimico erbio.

Multiplexing. Le fibre ottiche sono già una realtà: ogni giorno ne vengono installate abbastanza da avvolgere tutta la Terra per 3 volte, e possono (in laboratorio) trasportare fino a 10 miliardi di bit al secondo. Inoltre, grazie al multiplexing (far viaggiare contemporaneamente impulsi di frequenza diversa), secondo gli esperti sarà possibile raggiungere il milione di miliardi di bit al secondo: un milione di film in pochi secondi.

Come si crea la luce?

Chip "a luce"

A sinistra, un ricercatore mostra il nuovo cristallo fotonico realizzato nel suo laboratorio.

Fiamme dal passato

Un tempo era l'unica illuminazione artificiale. I suoi difetti? Troppo rossa e troppi residui gassosi.

La natura produce luce ovunque: ci sono i processi nucleari del Sole, la chimica della combustione, le lucciole, i fulmini, gli ultrasuoni...

Il Sole è l'oggetto simbolo tra quelli che emettono luce. Non solo, infatti, è la nostra più intensa sorgente di luce, ma emette energia soprattutto sotto forma di luce visibile... ma forse è vero il contrario: i nostri occhi si sono sviluppati come sono oggi proprio per poter captare le radiazioni più intense emesse dal Sole!

L'energia solare ha origine nel nucleo della stella, dove la pressione tra gli atomi di idrogeno è talmente intensa da fonderli in atomi di elio. Nel processo di fusione c'è tuttavia una perdita di massa, che viene emessa come energia. Parte di questa energia è utilizzata per opporsi alla forza gravitazionale della stella, il resto diventa radiazione. Soprattutto luce, ovvero proprio quel tipo di radiazione capace di eccitare le facoltà di percezione dell'occhio umano. La luce visibile ha lunghezza d'onda compresa tra i 380 nanometri (un nanometro equivale a un milionesimo di millimetro), che corrisponde al colore violetto, fino ai 780 nanometri circa, che corrisponde al rosso. Al di sotto del violetto ci sono i raggi ultravioletti, quelli X e quelli gamma; oltre il rosso, gli infrarossi, le microonde e le onde radio, tutte invisibili all'occhio umano. Certo, non è soltanto il Sole ad avere la capacità di produrre la luce. Anzi, sulla Terra si utilizzano "tecniche di produzione" completamente diverse.

Quando una sostanza brucia, per esempio, emette luce.

Un tipo ancora diverso di emissione è la fluorescenza, ovvero la capacità di alcuni materiali di emettere luce quando sono colpiti da raggi ultravioletti o da altri tipi di radiazione. La fluorescenza si distingue dalla fosforescenza in quanto i materiali fluorescenti hanno la capacità di emettere luce quando sono stimolati, ma al cessare dello stimolo tornano opachi. Nei materiali fosforescenti, invece, la luce continua a essere emessa anche dopo la fine dello stimolo.

Questo tipo di emissione luminosa si sviluppa in due fasi: dapprima gli elettroni degli atomi che costituiscono il materiale assorbono energia dalla radiazione incidente e passano a un livello energetico superiore; poi ciascuno degli elettroni eccitati torna al livello originario facendo vari "salti", emettendo cioè fotoni meno energetici di quello assorbito. Ecco perché si assorbono ultravioletti e si emette poi luce visibile.

L'intervallo di tempo tra l'eccitazione e l'emissione del fotone può essere breve (meno di 1/100.000 di secondo), nel qual caso si parla di fluorescenza, o lungo (molte ore), e allora si parla di fosforescenza. La fluorescenza e la fosforescenza hanno un gran numero di applicazioni: gli schermi televisivi, per esempio, sono ricoperti di sostanze fluorescenti, dette fosfori, che emettono luce quando sono eccitate da un raggio catodico.

Dal calore e dalla chimica

Un altro modo di emettere luce è quello chimico. Si parla di chemioluminescenza quando il fenomeno si verifica nel corso di una reazione chimica; di bioluminescenza, quando si manifesta in animali (come le lucciole, che producono luce come richiamo sessuale, grazie a una sostanza chiamata luciferina); di triboluminescenza quando è determinato da un'azione meccanica, per esempio lo strofinio; di elettroluminescenza se è prodotto da una scarica elettrica all'interno di un gas, come accade per alcune lampade; infine, di Röntgen-luminescenza quando la luce nasce dall'irradiazione con raggi X. In alcuni liquidi organici l'emissione di luce è causata da onde sonore ad alta frequenza o da ultrasuoni; in tal caso si parla di sonoluminescenza: le onde sonore provocano l'implosione di piccole bolle, con l'emissione di un lampo intenso.

Ma ci sono molte differenze tra la luce solare e quella delle lampadine? Sì. La principale consiste nel fatto che il massimo di energia emessa dalle fonti artificiali è più spostato verso le basse frequenze (il rosso), perché la temperatura che i filamenti delle lampadine raggiungono è inferiore alla temperatura del Sole. La componente rossa dello spettro in una lampada a incandescenza risulta prevalente sulle componenti verde e blu... quindi il colore delle lampadine è "meno bianco" di quello della luce naturale.

Peggio va con le lampade a scarica, che comprendono le lampade a fluorescenza (erroneamente dette al neon). Il loro funzionamento è semplice: il gas, o la miscela di gas, contenuto nel tubo o nel bulbo è eccitato da una corrente elettrica, così che gli elettroni esterni di ciascun atomo o molecola si spostano verso livelli energetici superiori; quando ricadono a un livello inferiore emettono una radiazione che va a eccitare appositi fosfori, cioè sostanze che emettono luce visibile. Il problema è che con questo procedimento sono tagliate molte frequenze della luce naturale, con la conseguenza che alcuni colori risultano diversi da quelli che percepiamo alla luce del Sole. ❑

MICROCHIP La fotonica soppianterà l'elettronica?

Lampi luminosi potrebbero animare i computer del futuro. I moderni microchip, infatti, si basano su flussi di elettroni in cristalli di silicio. Ma i fotoni sono più rapidi degli elettroni, non provocano surriscaldamenti e consumano meno energia, perché non devono essere messi in movimento... Il problema è: come manipolarli? **Cristalli fotonici.** Un passo in avanti è stato fatto recentemente: alcuni ricercatori sono riusciti a fermare per un istante un raggio di luce, e ora sperano di scambiare informazioni mediante i fotoni. Si cerca di ottenere lo stesso risultato anche usando cristalli artificiali, nei quali al posto degli atomi ci sono sferette trasparenti. Oggi, questi cristalli "fotonici" sono usati come specchi e guide d'onda.

All'inizio fu il neon

Produzione di lampade a scarica: queste contengono vapori di mercurio, che producono luce ultravioletta.

Il colore del calore

Il calore produce luce, e il colore di questa luce dipende dalla temperatura raggiunta: a 2.000 gradi c'è soprattutto rosso, a 3.800 arancione, a 5.500 giallo.

Quasi come un Sole

Una lampada alogena: qui il filamento di tungsteno, grazie a un gas di iodio, riesce a lavorare fino a 3.200 gradi, generando luce più naturale.

Una luce "di rimbalzo"

Colori fluorescenti: se illuminati con luce ultravioletta restituiscono immediatamente una luminosità bianca. Questa luce nasce dal "decadere" degli atomi a livelli energetici non eccitati.

A che cosa è dovuta la scia di un aereo?

Il cherosene che si consuma nei reattori di un aereo libera una miscela di aria e gas combusti. Questa si espande e si raffredda bruscamente nell'aria gelida dell'alta quota (a 10 mila metri ci sono circa –50 °C). Se l'atmosfera non è troppo secca, il vapor d'acqua cristallizza producendo le brillanti scie bianche. In fase di decollo e di atterraggio, invece, non vi sono le condizioni di temperatura e pressione perché questo avvenga, e la scia di un aereo è scura, come quella di un'auto. ❑

Aerosegni nel cielo
Una mezzaluna e una stella di Davide nel cielo di New York. In questo caso la scia artistica è stata prodotta con speciali gas emessi da aerei per il volo acrobatico.

Perché gli igloo non si sciolgono?

Perché fuori fa freddo e l'aria si raffredda molto velocemente.

La condizione irrinunciabile perché un igloo non si sciolga è ovviamente che la temperatura esterna si mantenga inferiore a quella di fusione del ghiaccio, cioè zero gradi centigradi. Nelle regioni artiche, dove vivono gli esquimesi, ciò si verifica per buona parte dell'anno, benché gli igloo vengano abbandonati nei mesi estivi.

Il fatto che gli igloo non si sciolgano neppure se al loro interno si accende un fuoco per riscaldarsi dipende invece da un fattore fisico, e cioè dalla diversa capacità termica di aria e ghiaccio.

In pratica, quando l'aria calda arriva nei pressi delle pareti interne si raffredda velocemente. E il ghiaccio, che invece ha bisogno di un elevato apporto di calore per passare allo stato liquido, "resiste". ❑

FONTI ENERGETICHE

Quando riusciremo a ottenere energia dalla fusione nucleare?

È notizia recente che si comincerà a costruire un prototipo di reattore a fusione nucleare in grado di produrre, per la prima volta, più energia di quanta ne serva per farlo funzionare.
I sei partner coinvolti nel progetto sono Unione Europea, Russia, Cina, Giappone, Stati Uniti e Corea del Sud. Il progetto è chiamato Iter (International thermonuclear experimental reactor) e l'impianto verrà costruito in Francia: quel che è certo è che i lavori dureranno una decina d'anni, con un costo di oltre 10 miliardi di euro.
Al termine di un periodo di sperimentazione, il reattore dimostrativo sarà collegato alla rete elettrica, ma non prima del 2035. Nel 2050, infine, potrebbe entrare in funzione il primo impianto commerciale.
Una piccola stella. La fusione nucleare, che a differenza della fissione produce pochissime scorie radioattive, è anche il meccanismo che permette alle stelle di bruciare: per ottenerla si riscalda in uno speciale dispositivo magnetico (chiamato tokamak) un "brodo" di due isotopi dell'idrogeno (deuterio e trizio) a temperature superiori ai 100 milioni di gradi, ottenendo, alla fine del processo, elio, neutroni e grandi quantità di energia.
Addio petrolio. Se l'esperimento avrà successo ne risulterà una fonte di energia praticamente infinita, a basso costo e a tasso di inquinamento minimo. Alcuni scienziati affermano però che anche la fusione produce inquinamento, benché in misura minore rispetto alla fissione nucleare, attualmente usata nelle centrali a uranio arricchito.

Capolavoro di ingegneria
Un igloo in costruzione. La "casa di ghiaccio" sta in piedi grazie all'inclinazione dei blocchi e alla forma a cupola.

Vortice di farfalle
Farfalle monarca in migrazione nello Stato messicano del Michoacán.

Che cos'è l'"effetto farfalla"?

Il cosiddetto effetto farfalla, ovvero la possibilità che un battito d'ali di una farfalla in Brasile finisca per provocare un tornado in Texas, è l'espressione più paradossale della teoria del caos, secondo il matematico Edward Lorenz.
Vi sono sistemi fisici (detti "lineari") per i quali, cambiando di poco le condizioni iniziali, variano di poco anche quelle finali. Per esempio, se si colpisce leggermente più forte una boccia da biliardo, questa andrà poco più lontano.
In altri tipi di sistemi, detti "non lineari", cambiare anche di un nonnulla le condizioni iniziali conduce invece a un'evoluzione del sistema completamente imprevedibile. È il caso, per fare un esempio, dell'andamento del clima.
Questo genere di considerazioni ha portato allo sviluppo della teoria del caos, che pone limiti precisi alla possibilità di prevedere l'evoluzione di sistemi non lineari complessi.
In questo ambito, l'effetto farfalla vuole significare che anche una causa di minima entità, dopo una serie di passaggi intermedi e di amplificazioni imprevedibili, può produrre un effetto straordinariamente grande.

Che cos'è una corrente a getto?

È un flusso di aria che si muove a una velocità di circa 100 chilometri all'ora da ovest verso est. È un "fiume" largo non meno di 500 chilometri, che scorre a un'altitudine compresa tra i 6 e i 15 mila metri. Si origina sulle aree temperate della Terra per le variazioni di temperatura alle varie latitudini, e influenza la circolazione dell'aria, lo scambio di calore e le condizioni meteo delle medie latitudini. Sul globo circolano numerose correnti a getto, che subiscono variazioni stagionali e influenzano anche i venti dominanti.

Come funziona la classificazione degli esseri viventi detta "cladistica"?

Questo sistema suddivide piante e animali in base a caratteristiche comuni, condivise solo all'interno di un gruppo. Per esempio, uccelli e coccodrilli, che hanno entrambi un foro nella mascella inferiore, andrebbero riuniti in una nuova classe, che esclude altri rettili che non possiedono questo carattere. Questi gruppi dovrebbero permettere di identificare più facilmente il percorso evolutivo di animali e piante. Inoltre non sarebbero fissi, ma provvisori, pronti a variare in funzione di nuove conoscenze acquisite. La teoria da cui deriva rifiuta, in contrapposizione con le interpretazioni darwiniste, di considerare la discendenza di una specie da un'altra ma ritiene che le modificazioni evolutive non siano necessariamente graduali.

Che cos'è la superforza?

Il cosmo è regolato da quattro forze: gravità, elettromagnetismo, interazioni nucleari forte e debole. Ora, però, gli scienziati sperano di scoprire che sono solo diverse manifestazioni di un'unica forza universale. Sono convinti, infatti, che esista una "superforza" capace di cambiare faccia di volta in volta.

Attorno a noi tutto si muove e cambia: il Sole nel cielo, le foglie sugli alberi, l'acqua nei fiumi, gli uccelli nell'aria, le rughe sul viso. Sono le forze a plasmare il mondo e a produrre i cambiamenti che osserviamo. Sono loro a dirigere qualsiasi processo fisico, chimico o biologico.

Alcune forze agiscono per contatto, come il calcio su una palla, mentre altre, come la Luna sulle maree, paiono agire a distanza attraverso uno spazio vuoto.

A prima vista le forze sembrano essere molte e assai diverse tra loro, ma non è così. Negli ultimi tre secoli i fisici si sono accorti che per spiegare ogni interazione tra corpi, ogni struttura che si possa osservare o creare nell'universo, bastano quattro forze: la forza gravitazionale, la forza elettromagnetica e due forze che si manifestano solo dentro l'atomo, chiamate semplicemente "forte" e "debole".

Masse in movimento

La gravità è la più familiare delle forze, essendo quella che ci tiene coi piedi per terra. Benché l'uomo ne sia sempre stato consapevole, il suo ruolo come forza della natura non è stato pienamente riconosciuto fino alla pubblicazione della teoria della gravitazione di Newton, alla fine del Seicento. Prima era diffusa l'idea aristotelica secondo cui tutti i corpi tendono al loro "luogo naturale". Che per i solidi e i liquidi è la terra e per questo cadono, mentre per i gas è il cielo, per cui salgono.

Con Newton il motore del movimento diventa la gravità, e la massa è la proprietà di ogni corpo che lo rende sensibile a essa: più un corpo ha ▸

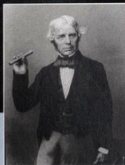
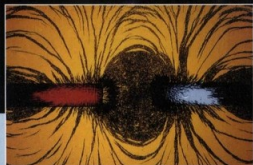
Attrazioni cosmiche
Dagli atomi di un granello di sabbia ai gas incandescenti delle stelle, tutto nel cosmo è tenuto insieme da quattro sole forze... che forse, in realtà, sono le facce di un'unica legge fisica.

SOLLECITAZIONI Che cosa sono le forze apparenti?

Esistono sollecitazioni che noi attribuiamo a forze ma che forze non sono, e per questo vengono dette apparenti. Una di queste è la forza centrifuga. La spinta che sembra buttarci all'esterno quando affrontiamo una curva in macchina o saliamo su una giostra è il risultato della tendenza di ogni corpo in movimento a proseguire in direzione rettilinea in assenza di spinte.
Quella che percepiamo come forza centrifuga è in realtà una forza diretta verso il centro che, trattenendoci, ci fa compiere una traiettoria curva.
Illusione. Un'altra forza apparente è quella di Coriolis, responsabile per esempio dello spostamento delle perturbazioni verso est. In questo caso l'inganno è dato dal fatto che l'osservatore ruota. Immaginiamo di essere all'interno di un tamburo che ruota e di lanciare una pallina. Essa sembrerà compiere una curva, come se una forza la spingesse di lato.

Trattenuti al centro
Una giostra al luna park. Benché si parli di "forza centrifuga", l'unica vera forza in atto è quella che trattiene i seggiolini.

1. Forza elettromagnetica

Dal fulmine al magnete
Una scarica elettrica tra due elettrodi metallici: a guidarla è la forza elettromagnetica, la stessa che genera l'attrazione delle calamite.

Il fisico inglese Michael Faraday. A sinistra, le invisibili linee di forza di un campo magnetico rivelato dalla presenza di limatura di ferro.

massa e più attrae altri corpi dotati di massa.

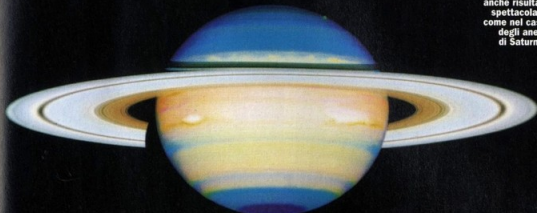
Calamite ed elettricità

La forza elettromagnetica è la seconda delle quattro in familiarità. È la forza che governa tutte le comodità della vita moderna: luce, televisore, telefono, computer... ma è nota all'uomo fin dai primordi grazie ai fulmini. Inoltre, si sapeva da millenni che alcuni materiali, come il vetro e l'ambra, emanano una forza d'attrazione se li si strofina. Solo nel Settecento, però, l'americano Benjamin Franklin comprese che lo strofinio "carica" elettricamente i corpi. La carica elettrica gioca infatti lo stesso ruolo della massa per la gravità: determina quanto un corpo sia sensibile alla forza elettromagnetica, cioè quanto sia attirato o respinto da altri corpi carichi.

Fino ad allora, forza elettrica e forza magnetica (quella esercitata dalle calamite e da altri materiali magnetizzati) erano però ritenute due fenomeni distinti. Finché, nel 1820, il danese Christian Oersted ipotizzò che elettricità e magnetismo fossero intercambiabili, e mostrò che un filo percorso da corrente elettrica agisce come un magnete, influenzando le bussole. Nel 1831, l'inglese Michael Faraday verificò l'opposto, e cioè che dal movimento di un magnete si ricava elettricità.

Fu poi James Clerk Maxwell, nel 1873, a trovare anche la conferma matematica: un insieme di equazioni che descrivono contemporaneamente il comportamento di elettricità e magnetismo.

Un collante nucleare

Le forze nucleari forte e debole ci sono meno familiari perché, a differenza di gravità ed elettromagnetismo, la cui influenza si estende all'infinito, il loro raggio d'azione è limitato alle dimensioni dei nuclei atomici. Più in là non sono avvertibili. Ecco perché queste due forze sono state scoperte solo recentemente. D'altra parte, finché si pensava che il nucleo atomico fosse fatto di protoni (con carica positiva) e di elettroni (con carica negativa) sembrava ragionevole supporre che la reciproca attrazione elettromagnetica bastasse a spiegare la stabilità del nucleo; dopo il 1930, però, quando il modello di atomo ispirato da Rutherford e Bohr fu definitivamente accettato (un nucleo di protoni e neutroni attorno al quale ruotano gli elettroni), si dovette riconoscere con sgomento che non si sapeva spiegare cosa tenesse insieme il nucleo: i protoni si sarebbero dovuti infatti respingere tra loro. Poiché l'interazione gravitazionale era troppo debole per avere degli effetti su scala atomica, si concluse che doveva esistere un'interazione nucleare ancora sconosciuta ma molto intensa, che per questo fu battezzata "forza forte". È questa forza a cortissimo raggio che tiene uniti i quark all'interno dei protoni e dei neutroni, e riesce a tenere stipati insieme protoni e neutroni nei nuclei atomici.

Decadimenti radioattivi

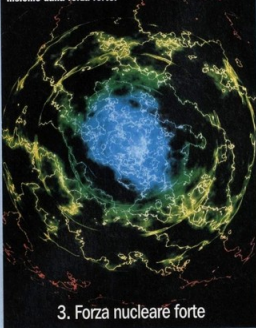
La forza forte non bastava però a spiegare tutti i modi in cui i nuclei a volte si scindono, per esempio in alcuni casi di decadimento radioattivo (in particolare un fenomeno definito "decadimento beta"). Doveva quindi esserci un'ulteriore forza che, all'occasione, riusciva a trasformare un protone in un neutrone e viceversa. Senza questa forza, le reazioni nucleari non sarebbero possibili, nemmeno quelle che alimentano il Sole. Il primo a descriverla

2. Forza di gravità

Senso estetico
La forza gravitazionale produce anche risultati spettacolari, come nel caso degli anelli di Saturno.

Isaac Newton. A destra, bassa marea. L'alzarsi e abbassarsi periodico del livello del mare è un effetto della gravità lunare.

Un nucleo di elio circondato dai suoi elettroni. I protoni che lo compongono sono tenuti insieme dalla forza forte.

Il decadimento di particelle in una camera a bolle. La forza debole rende possibili alcuni decadimenti radioattivi.

▸matematicamente fu l'italiano Enrico Fermi, nel 1934, e per contrasto con la forza nucleare forte la si chiamò "debole".

Una disparità colmabile

Negli ultimi decenni i fisici hanno scoperto che, come la massa determina la sensibilità di una particella alla gravità e la carica elettrica la sua sensibilità all'elettromagnetismo, così una particella può essere dotata di una "carica debole" (detta anche "sapore") e di una "carica forte" (o "colore"), che determinano la sua sensibilità rispettivamente alla forza debole e alla forza forte.

Al di là del fatto che queste proprietà sono state accuratamente misurate dai fisici in laboratorio, nessuno ha ancora trovato una spiegazione del perché il nostro universo sia composto di particelle con queste particolari masse e queste particolari cariche. E del perché le forze si differenzino così notevolmente in intensità.

Debolissima gravità

Gli esperimenti hanno dimostrato, per esempio, che la forza forte è circa cento volte più tenace della forza elettromagnetica e addirittura centomila volte più forte di quella debole.

Al contrario, a livello di particelle singole, la gravità è una forza praticamente impercettibile, più debole della forza elettromagnetica di un miliardo di miliardi di miliardi di miliardi di volte (1 seguito da 36 zeri).

In un ipotetico gioco a braccio di ferro, se il vostro bicipite rappresentasse la forza della gravità, allora quello del vostro avversario dovrebbe essere più grande dell'universo conosciuto per rappresentare la forza elettromagnetica!

L'unica ragione per cui la forza elettromagnetica non sopraffà completamente la gravità, e che anzi sia quest'ultima a essere di gran lunga la più conosciuta ed evidente, è che la maggior parte delle cose contiene un egual numero di cariche elettriche positive e negative, le cui azioni attrattive e repulsive si cancellano a vicenda.

La gravità è invece sempre attrattiva (neppure l'antimateria avrebbe un effetto di repulsione gravitazionale), per cui la forza gravitazionale aumenta inesorabilmente all'aumentare della quantità di materia.

Ne consegue che stelle e pianeti hanno una gravità enorme, così che possono attrarsi e restare reciprocamente legati anche a distanze di milioni di chilometri. Ed è proprio questo a rendere possibile l'esistenza stessa dell'universo. ❑

Fasci di luce laser per lo studio di computer ottici. La luce è composta da fotoni, particelle che trasportano la forza elettromagnetica.

L'ultimo mistero: il gravitone

Dalla teoria dei campi alle particelle di scambio, tutti i modi in cui gli scienziati hanno finora spiegato l'azione a distanza delle forze. Tutte tranne una: la gravità.

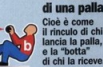
Nel tentativo di spiegare come i corpi possano interagire a distanza, venne introdotto nell'Ottocento il concetto di campo: l'azione della forza (gravitazionale, elettrica, magnetica ecc.) non ha luogo direttamente, ma ciascun corpo genera nello spazio un alone invisibile di influenza. Un altro corpo, che venga a trovarsi in questo "campo", percepisce una forza. Qualsiasi particella che possieda una massa è dunque sorgente di un campo gravitazionale, che si estende indefinitamente in tutte le direzioni. Se poi è dotata di carica elettrica è anche sorgente di un campo elettromagnetico, altrettanto esteso.

A partire dagli anni Trenta, con l'affermarsi della meccanica quantistica, subentrò un altro modo di considerare l'azione di una forza. A livello microscopico, l'interazione tra due particelle venne immaginata come lo scambio virtuale di una terza particella (v. disegno sotto). Ogni volta che la particella A emette una particella di scambio rincula come se avesse sparato un proiettile; e ogni volta che la particella B riceve una particella di scambio viene spinta all'indietro dall'urto. Così facendo, le particelle A e B si allontanano l'una dall'altra, proprio come se si respingessero a vicenda.

Particelle come boomerang

Poi c'è il caso opposto: la particella di scambio si comporta come un boomerang, spostandosi da dietro la particella A a dietro la particella B, in modo tale che l'effetto diventa quello di avvicinare le due particelle, proprio co-▸

La forza è proprio come...

Oggi l'azione di una forza si descrive come scambio di particelle virtuali.

... il lancio di una palla

Cioè è come il rinculo di chi lancia la palla, e la "botta" di chi la riceve.

me se si fossero attirate reciprocamente.

Secondo questo modo di vedere (descritto dalle cosiddette teorie di gauge), tutte le forze sarebbero il risultato di scambi di particelle, che hanno il compito di trasportarne l'azione. Nel caso della forza elettromagnetica, la particella portatrice è il fotone. Per la forza debole sono i cosiddetti bosoni W e Z. Per la forza forte sono i gluoni, dall'inglese *glue*, "colla": un nome particolarmente azzeccato per qualcosa che deve tenere tenacemente uniti i "pezzi" di un nucleo atomico.

Scoperta da Nobel

Il fisico italiano Carlo Rubbia ha individuato nel 1982 le particelle portatrici della forza nucleare debole, i bosoni vettori intermedi W e Z.

Inafferrabile gravitone

Dal 1982 l'esistenza e le proprietà di questi tre tipi di particelle mediatrici, o bosoni vettori, sono state definitivamente stabilite sperimentalmente.

I fisici ritengono che anche la forza gravitazionale abbia una particella associata, il gravitone, ma la sua esistenza non è stata provata. L'intrinseca debolezza della gravità rende infatti la sua ricerca un'impresa. I calcoli teorici indicano che il gravitone dovrebbe essere privo di massa, come il fotone e il gluone, che in questo si differenziano dai bosoni W e Z, la cui massa è invece 80 volte quella del protone.

Così sono stati trovati quark e bosoni

Simulazione di uno scontro tra particelle all'interno di un acceleratore. Dalla collisione ne nascono di nuove.

Uguali ad alta energia

Un rivelatore di particelle. Qui dentro, alla temperatura di un milione di miliardi di gradi, si è visto che forza elettromagnetica e debole coincidono.

Domani: la teoria del tutto?

Tutte le leggi della creazione descritte da una sola teoria? I fisici ne sono convinti, e la cercano fin dai tempi di Albert Einstein.

Perché le forze fondamentali sono proprio quattro? Perché non cinque o tre, o piuttosto una sola? Perché le loro intensità sono così diverse? E perché hanno proprio quei valori? Non si tratta di domande filosofiche: l'universo sarebbe un posto ben diverso se le forze fossero anche di poco differenti. Per esempio, l'esistenza di nuclei atomici stabili si fonda sul delicato equilibrio tra forza elettromagnetica e forte: i protoni del nucleo si respingono elettricamente, ma la forza forte che attrae tra loro i quark che li costituiscono bilancia questa repulsione.

La teoria del campo unificato

Al tempo di Einstein, la forza debole e quella forte non erano ancora state scoperte, ma egli trovava già insopportabile l'esistenza di due forze distinte, gravità ed elettromagnetismo. Si mise così alla ricerca di una "teoria del campo unificato", una relazione matematica capace di descriverle entrambe dimostrando che erano manifestazioni di un'unica forza, come elettricità e magnetismo.

Einstein dedicò a questo progetto alcuni decenni, infruttuosamente. Nel frattempo furono scoperte le altre due forze, il che rese ancor più difficile l'impresa. Verso la fine degli anni Sessanta, però, gli americani Steven Weinberg, Sheldon L. Glashow e il pakistano Abdus Salam idearono un modello matematico che descriveva la forza elettromagnetica e quella debole come aspetti di un'unica "forza elettrodebole".

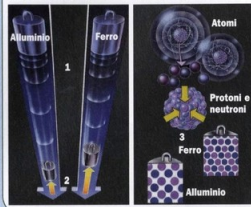
Energie inarrivabili

Uno schema delle energie alle quali le varie forze dovrebbero coincidere. La freccia rossa a sinistra indica a quale energia siamo finora arrivati negli acceleratori di particelle. L'unificazione di tutte le forze è irraggiungibile sulla Terra.

MISTERO Cos'è la quinta forza?

Negli ultimi anni alcuni fisici si sono imbattuti in situazioni in cui la gravità sembrava agire diversamente da quanto previsto dalle leggi di Newton, come se fosse contrastata da una sorta di "antigravità".

Ferro lento. Dai tempi di Galileo sappiamo infatti che due oggetti nel vuoto cadono alla stessa velocità. Ma alcuni esperimenti avrebbero indicato che un peso di ferro cade più lentamente (di pochissimo) di uno di alluminio (1). Si è quindi pensato all'esistenza di una quinta forza che si opporrebbe alla gravità (2).

Compattezza. Dato che protoni e neutroni nel ferro sono "impacchettati" più strettamente, forse questa forza dipende dalla compattezza dei nuclei (3). La maggior parte degli scienziati rimane però scettica.

Ma com'è possibile che forze di intensità tanto diversa possano assumere la stessa forma? In realtà l'intensità effettiva delle forze non è costante in assoluto, ma cambia in funzione della temperatura dell'ambiente in cui agiscono. L'intensità della forza debole e di quella elettromagnetica variano all'aumentare della temperatura fino a diventare simili verso il milione di miliardi di gradi (corrispondente a un'energia di 100 miliardi di elettronvolt). È a quel punto che le due forze si combinano nell'unica forza elettrodebole. Al crescere della temperatura, anche la forza nucleare forte si indebolisce, avvicinandosi a quella elettrodebole. Ma per osservarne l'unificazione bisognerebbe raggiungere la fantastica temperatura di 10 miliardi di miliardi di miliardi di gradi.

Questo non toglie che molti fisici siano convinti di essere sulla strada giusta. Ancora qualche modifica e la Teoria di grande unificazione (Gut), proposta nella sua prima formulazione nel 1973, descriverà anche la forza forte: tre su quattro.

L'ultima forza rimasta, la gravità, continua però a sfuggire all'unificazione. Infatti, nel momento in cui si usa la Gut per calcolare alcune proprietà che dovrebbero potersi misurare si ottengono valori infinitamente grandi, anziché numeri sensati.

L'unificazione finale

Nel 1984 Edward Witten, Michael Green e John Schwarz proposero però una nuova teoria fisica, la cui potenza risiede nel concetto di "corda". Secondo questa teoria, se potessimo esaminare le particelle fondamentali - come quark ed elettroni - con un "ingrandimento" centomila miliardi di volte maggiore di quello che ci è permesso dalle tecnologie attuali, scopriremmo che esse non sono palline, ma minuscole linee o anelli sottilissimi. «La teoria afferma che le proprietà delle particelle osservate sono il riflesso dei vari modi in cui queste microscopiche stringhe possono vibrare, come corde di una chitarra. Anziché produrre note musicali, però, ciascuna delle possibili vibrazioni ci appare come una diversa particella», spiega Brian Greene, fisico teorico della Columbia University (New York). Così l'elettrone è una corda che vibra in un certo modo, il quark down una corda che vibra in un altro modo, il fotone una corda che vibra in un altro modo ancora, e così via.

Le interazioni tra particelle diventano allora fusioni e scissioni di corde. Tutto troppo pittoresco? Forse, ma la sostituzione delle particelle puntiformi con corde è ciò che ha permesso di trovare un punto di contatto tra la gravità e le altre forze. Un'eventualità che si presenta però vicino alla più alta temperatura mai raggiunta in natura, quella del Big Bang, e non è dunque sperimentabile sulla Terra. Nondimeno, un numero sempre maggiore di fisici e di matematici è convinto che la teoria delle supercorde potrebbe fornire la "spiegazione ultima" già ricercata da Einstein. Partendo da un solo principio (cioè che tutto, a livello microscopico, non è che una combinazione di corde vibranti) la teoria fornisce infatti una cornice di riferimento entro cui racchiudere tutte le forze e tutta la materia.

Una teoria afferma che queste due sferette (una di alluminio, l'altra di ferro) dovrebbero cadere nel vuoto a velocità diverse per una forza ancora sconosciuta.

Spazi a tante dimensioni

Semplificando al massimo, potremmo dire che le particelle sono le note prodotte dalle vibrazioni delle microscopiche corde. E che l'universo è la musica che con queste note è stata composta.

Per questa ragione la teoria delle supercorde è stata definita la migliore candidata al titolo di Teoria del tutto: la descrizione definitiva delle proprietà fondamentali dell'universo. Non che essa fornisca una risposta a qualsiasi interrogativo. Ma dovrebbe finalmente spiegarci perché esistono i quark o gli elettroni e non altre particelle. In sostanza, svelarci la struttura su cui è costruito il mondo intero. La teoria delle supercorde, tuttavia, ha una struttura concettuale così profonda che siamo ancora ben lontani dall'averne piena padronanza. La sua matematica è così complicata che finora non se ne conoscono neppure le esatte equazioni, ma solo delle approssimazioni, risolte parzialmente.

«La teoria potrà richiedere ancora decenni o addirittura secoli per essere completamente sviluppata e compresa», prevede Greene. Basti dire che uno dei suoi requisiti è che l'universo abbia un numero di dimensioni (a seconda delle formulazioni, 10, 11 o 26) ben maggiore di quelle che vediamo. Dove sono allora queste dimensioni extra? Secondo gli scienziati sarebbero rimaste intrappolate nel finissimo tessuto spazio-temporale dell'universo e non si sono potute espandere, cosicché la loro esistenza è per noi impercettibile. Perché questo sia avvenuto è però ancora un mistero.

Se la teoria delle supercorde è corretta, il microscopico tessuto del nostro universo è dunque un labirinto multidimensionale riccamente intrecciato, all'interno del quale le corde vibrano e si attorcigliano senza posa. «Lontano dall'essere dettagli accidentali, le proprietà dei mattoni elementari della natura sarebbero invece profondamente legate al tessuto dello spazio-tempo», dice Greene. A distanza di mezzo secolo, il sogno di Einstein di una teoria unitaria sembra oggi vicino a realizzarsi. ❑

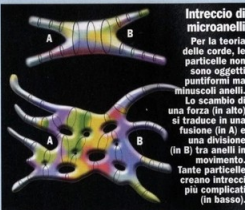
Quando la gravità fa vibrare lo spazio

C'è un effetto della gravità previsto da Einstein così debole da non essere ancora stato osservato: le onde gravitazionali. Dal 1960 gli scienziati cercano di rivelarle, basandosi sull'idea che il loro passaggio dovrebbe provocare nei corpi solidi minute vibrazioni, che finora nessuno ha evidenziato. Forse ci riuscirà il progetto italo-francese Virgo situato vicino a Pisa.

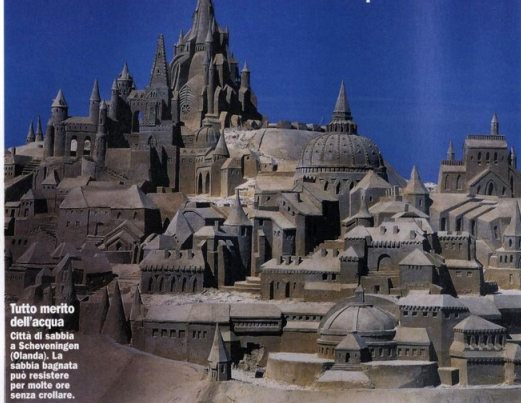
Tubi giganti. L'apparato sperimentale consiste di due tubi perpendicolari lunghi 3 km e larghi 120 cm, in cui viaggerà - nel vuoto - un raggio di luce. Se un'onda gravitazionale li attraverserà, il cammino della luce sarà perturbato in modo misurabile.

Scontro di due pulsar: dovrebbe produrre onde gravitazionali.

Forza smascherata

Sheldon Lee Glashow, Nobel per la fisica nel 1979 con Weinberg e Salam: i tre capirono che le forze elettromagnetica e debole convergono.

Intreccio di microanelli

Per la teoria delle corde, le particelle non sono oggetti puntiformi ma minuscoli anelli. Lo scambio di una forza (in alto) si traduce in una fusione (in A) e una divisione (in B) tra anelli in movimento. Tante particelle creano intrecci più complicati (in basso).

Come fanno i castelli di sabbia a stare in piedi?

Tutto merito dell'acqua
Città di sabbia a Scheveningen (Olanda). La sabbia bagnata può resistere per molte ore senza crollare.

Si sa che è impossibile costruire castelli con la sabbia asciutta. Con la sabbia bagnata, invece, stanno in piedi anche per 24 ore. La loro solidità, infatti, dipende dall'acqua che, sotto forma di una sottile pellicola, avvolge ogni singolo granello di sabbia. Le molecole dell'acqua si attraggono tra loro secondo il principio della "tensione superficiale", lo stesso cioè che fa sembrare i liquidi racchiusi da una membrana elastica (basti pensare alle gocce). In questo modo viene trattenuta anche la sabbia. Al mare l'effetto è poi rafforzato dalla presenza del sale, che agisce da colla. ❑

FISICA DEI SOLIDI

Esistono materiali che, se compressi, si espandono anziché ridursi?

Sì, per esempio gli zeoliti: cristalli composti da atomi di alluminio, silicio e ossigeno che si dispongono in maniera ordinata e regolare lasciando minuscoli pori (larghi un milionesimo di millimetro). Nel dicembre 2001, un gruppo di ricerca del Dipartimento Usa dell'energia e dell'Università inglese di Birmingham ha scoperto che, se sottoposti a pressione elevatissima (tra 8 mila e 15 mila volte quella atmosferica), alcuni cristalli di zeolite si espandono lungo due delle tre dimensioni spaziali. Poiché anche i pori si ingrandiscono, è pensabile inserirvi atomi e molecole più grandi, come idrocarburi, mercurio, piombo o stronzio radioattivo; riducendo la pressione, poi, i pori si rimpicciolirebbero intrappolando questi elementi inquinanti.

Lente deformante
Un'atleta russa durante una gara di nuoto sincronizzato, in occasione delle Olimpiadi di Sydney 2000.

Perché l'acqua deforma le immagini?

La causa di questo fenomeno risiede nella rifrazione dei raggi luminosi, cioè la deviazione che essi subiscono passando da un mezzo fisico all'altro, in questo caso dall'acqua all'aria. È grazie ai raggi di luce, infatti, che l'immagine di un oggetto viene percepita dai nostri occhi. Passando da una sostanza più densa a una meno densa, un fascio di raggi luminosi tende ad aprirsi; per cui un oggetto immerso in una vasca ci appare più grande delle sue dimensioni reali.
E una matita immersa per metà sembra spezzata all'altezza della superficie dell'acqua.

Si può superare la barriera del suono anche sott'acqua?

Questo risultato è stato ottenuto per la prima volta nel 1997 al Naval undersea warfare center, nel Rhode Island (Usa), grazie a un proiettile dal muso schiacciato che ha raggiunto i 5.576 km/h. Superare la barriera del suono sott'acqua è, infatti, difficilissimo per almeno due motivi: perché la velocità del suono nell'acqua è maggiore che nell'aria (5.400 invece di 1.200 km/h), e perché l'acqua oppone una resistenza al movimento molto superiore.
Siluro. Per spostarsi velocemente nell'acqua si usa il principio della supercavitazione, ideato dai russi per i siluri Shkval, capaci di toccare i 400 km/h: la punta del siluro, opportunamente disegnata, vaporizza l'acqua che incontra e crea una bolla di gas che avvolge interamente il mezzo in movimento, riducendo così moltissimo l'attrito.

Sarà possibile un giorno registrare i sogni su videocassetta?

Le informazioni (visuali, uditive, tattili) contenute nei sogni corrispondono a segnali di tipo elettrico che si trasmettono dal cervello alla periferia. La loro esistenza è provata dagli studi fatti tramite la tomografia a emissione di positroni (Pet, una tecnica che permette "foto" dell'attività cerebrale) su soggetti dormienti. Se si riuscisse a scomporre in piccoli passi tutto il processo di trasmissione delle informazioni, si potrebbe poi ricostruirlo e trascriverlo sotto forma di qualcosa che riprodurrebbe le "immagini mentali".
Obsolete. Nulla impedisce in un lontano futuro di farlo, ma per allora le videocassette saranno superate da un bel pezzo.

L'attività del cervello
Una paziente dell'Istituto St. Franziska a Bad Kreuznach (Germania). Qui i neurologi registrano gli impulsi elettrici del cervello (e, in un certo senso, anche i sogni).

MATEMATICA

Perché si usa la "x" per indicare un'incognita?

Il primo a usare le lettere dell'alfabeto per indicare quantità matematiche fu probabilmente il francese François Vieta, nella seconda metà del '500. Prima, le relazioni algebriche erano espresse a parole, senza l'uso di simboli. Nel '600, René Descartes (Cartesio), inventore della geometria analitica, decise di usare le prime lettere (a, b, c...) per indicare le quantità note, e le ultime per quelle incognite.

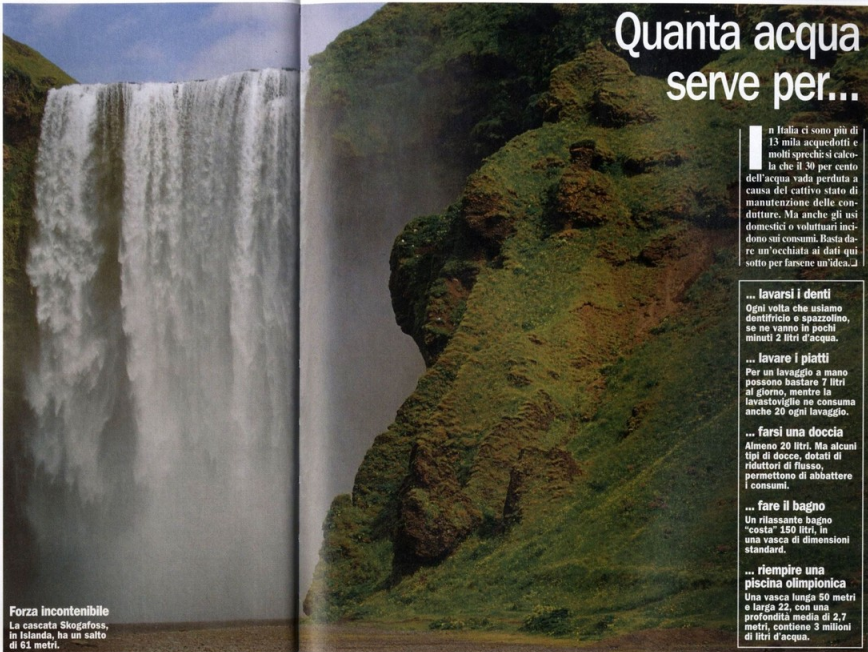
De gustibus. Ma perché invece di partire dalla "z" scelse la "x"? Non si sa con certezza: forse perché era la lettera con la quale indicava l'asse orizzontale del suo piano cartesiano, o perché la z si confondeva col numero 2. O ancora, più semplicemente, perché la x era facile da tracciare.

È vero che Einstein, a scuola, andava male in matematica?

No, Einstein è sempre stato un buono scolaro, soprattutto in geometria, con la quale aveva dimostrato di saperci fare fin da piccolo. La diceria secondo cui andava male in matematica nasce dal fatto che, a causa dei continui spostamenti dei genitori per motivi di lavoro, Albert non poté concludere il ginnasio. In Svizzera, però, gli fu offerta la possibilità di frequentare l'Eth (il prestigioso Politecnico di Zurigo) senza il diploma. Purtroppo Einstein (1879-1955) all'epoca aveva solo 16 anni e non riuscì a superare l'esame di ammissione; se tuttavia fossero state valutate solo le sue prove di fisica e matematica sarebbe risultato il migliore. Albert non si diede per vinto: conseguì la maturità ad Aarau, sempre in Svizzera, e finalmente, circa un anno dopo, entrò al Politecnico, con risultati che furono definiti spettacolari.

Che cos'è la tensione superficiale?

La tensione superficiale è la forza con cui le molecole alla superficie di un liquido sono attratte verso l'interno, facendo sì che lo strato superficiale si comporti come una sottile pellicola elastica. L'acqua presenta un valore di tensione superficiale tra i più alti che si conoscano: ciò spiega la sua tendenza a riunirsi in gocce sferiche.

Capillarità. Collegato alla tensione superficiale è il fenomeno della capillarità, la capacità dell'acqua di risalire lungo tubi capillari.

Forza incontenibile
La cascata Skogafoss, in Islanda, ha un salto di 61 metri.

Quanta acqua serve per...

In Italia ci sono più di 13 mila acquedotti e molti sprechi: si calcola che il 30 per cento dell'acqua vada perduta a causa del cattivo stato di manutenzione delle condutture. Ma anche gli usi domestici o voluttuari incidono sui consumi. Basta dare un'occhiata ai dati qui sotto per farsene un'idea.❑

... lavarsi i denti
Ogni volta che usiamo dentifricio e spazzolino, se ne vanno in pochi minuti 2 litri d'acqua.

... lavare i piatti
Per un lavaggio a mano possono bastare 7 litri al giorno, mentre la lavastoviglie ne consuma anche 20 ogni lavaggio.

... farsi una doccia
Almeno 20 litri. Ma alcuni tipi di docce, dotati di riduttori di flusso, permettono di abbattere i consumi.

... fare il bagno
Un rilassante bagno "costa" 150 litri, in una vasca di dimensioni standard.

... riempire una piscina olimpionica
Una vasca lunga 50 metri e larga 22, con una profondità media di 2,7 metri, contiene 3 milioni di litri d'acqua.

Che cosa succede quando si supera il muro del suono?

Si dice che un oggetto supera il "muro del suono" quando si muove in un mezzo materiale (di solito l'aria) a velocità superiore a quella delle onde acustiche. Per un aeroplano, il "muro" corrisponde a circa 1.200 km/h (il valore esatto dipende dalla temperatura e dalla pressione dell'aria).

Bang! Quando raggiunge questa velocità, l'aereo incontra un brusco aumento di resistenza (da qui la scelta del termine "muro"). Muovendosi nell'aria, infatti, l'aereo produce onde di pressione, che normalmente si allontanano da esso alla velocità del suono. Ma se l'aereo raggiunge la stessa velocità, esse si accumulano sulla sua superficie fino a scontrarsi con il velivolo, producendo un'onda d'urto percepita all'esterno come un rumore secco, simile a un'esplosione: il "bang" sonico. Una volta superata la velocità critica, la resistenza diminuisce.

Ci sono altri "muri"?

Un fenomeno simile al "bang" sonico si verifica quando una particella elettricamente carica, per esempio un elettrone, supera in velocità la luce. Ciò non può mai accadere nel vuoto, dove, secondo la teoria della relatività, la velocità della luce è un limite invalicabile. Ma in un mezzo come l'acqua, o un cristallo trasparente, la luce si muove più lentamente che nel vuoto e può essere "superata" da una particella.

Sorpasso. Quando ciò avviene, la particella genera un cono luminoso per certi aspetti simile all'onda d'urto del "bang" sonico. Questo fenomeno - detto effetto Cerenkov dal nome del fisico russo che lo scoprì nel 1934 - serve per rivelare le particelle cariche veloci, come quelle prodotte dai reattori nucleari o quelle che arrivano dallo spazio sotto forma di raggi cosmici. ❑

Oltre la barriera
Un caccia F-14 Tomcat supera la barriera del suono, producendo un'onda d'urto che condensa l'umidità dell'aria in una caratteristica nube conica.

Che cos'è la teoria della relatività?

Il concetto di relatività è radicato nella cultura moderna: tutti capiamo che due automobili affiancate hanno una velocità "relativa" uguale a zero. Ma grazie a Einstein, abbiamo capito che masse, tempi e lunghezze dipendono dall'osservatore. Tanto da far diventare un proverbio la frase "tutto è relativo".

C'era una cosa che Copernico non riusciva a capire. Per lui era ovvio che fosse la Terra a girare intorno al Sole: secondo i calcoli filava a ben 30 chilometri al secondo... ma, si chiedeva, perché non ce ne accorgiamo? Fu Galileo Galilei a risolvere l'enigma: è impossibile distinguere un sistema in orbita da uno in quiete, perché il concetto di "stare fermi" è relativo. Tutto qui, e le conseguenze più radicali di questo principio furono sviluppate da Einstein in due scritti storici: la relatività ristretta (che però contiene ancora una forte semplificazione: non tiene conto della gravità) e la relatività generale (v. prossime pagine).

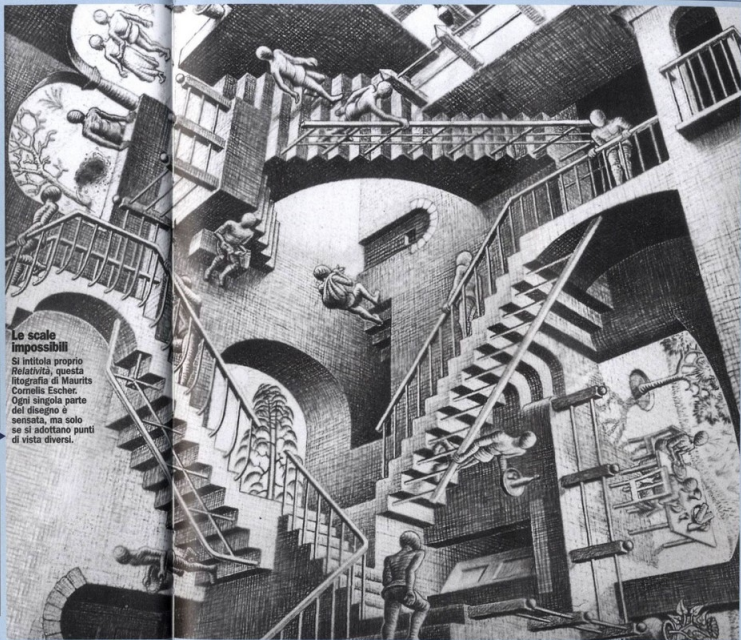
Come una barca nell'oceano

Le intuizioni di Galileo, e quelle dello scienziato britannico Isaac Newton, considerato con Galileo padre della scienza moderna, non si possono però riassumere nella sbrigativa affermazione che "tutto è relativo". Al contrario, sono servite a stabilire che cosa dipende dal punto di vista e che cosa no.

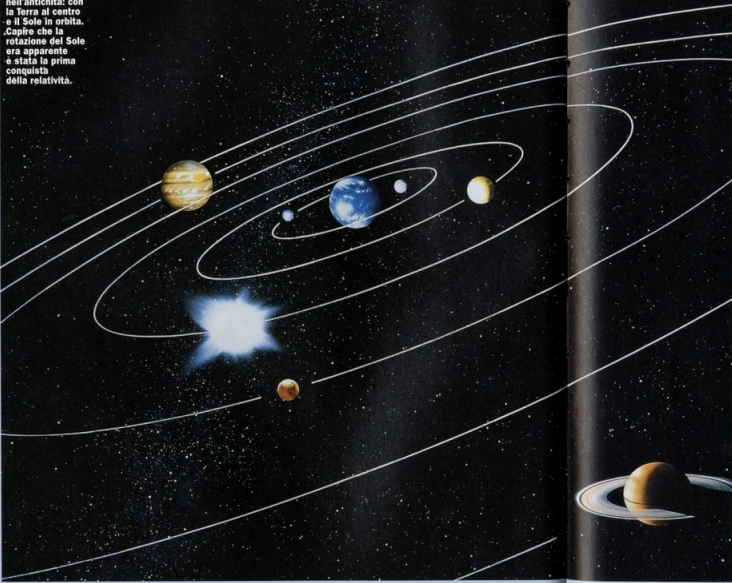
Il principio di relatività classico fu enunciato da Galileo: "È impossibile distinguere, sulla base di misure meccaniche, un sistema in moto rettilineo uniforme da uno in quiete".

Sembra ovvio, ma a quei tempi non si sapeva nemmeno che cosa fosse il moto rettilineo uniforme, e per spiegare il concetto ai contemporanei, Galileo descrisse in dettaglio - nell'opera *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, del 1638 - un "esperimento pensato". In sintesi, questo era l'esperimento: «Chiudetevi con alcuni amici nella cabina principale di una grande nave, sotto coperta, e prendete con voi alcune mosche, farfalle, o altri piccoli animali volanti. Riem- ▶

Intuizione e matematica
Il britannico Isaac Newton (1643-1727): considerato uno dei padri della scienza moderna diede forma matematica alla relatività classica.

L'apparenza non conta
Il polacco Niccolò Copernico (1473-1543): capì (contro tutte le apparenze) che è la Terra a girare intorno al Sole.

Le scale impossibili
Si intitola proprio *Relatività*, questa litografia di Maurits Cornelis Escher. Ogni singola parte del disegno è sensata, ma solo se si adottano punti di vista diversi.

Chi gira e chi è al centro

Il sistema solare com'era concepito nell'antichità: con la Terra al centro e il Sole in orbita. Capire che la rotazione del Sole era apparente è stata la prima conquista della relatività.

pite d'acqua una vasca e mettetevi alcuni pesci; appendete una bottiglia che si svuoti goccia dopo goccia in un vaso sottostante.

«Quando la barca è ferma, osservate attentamente come gli insetti volino con uguale velocità in tutti i lati della cabina. I pesci nuotino indifferentemente in tutte le direzioni; le gocce d'acqua cadano nel vaso sottostante... quando avrete osservato tutte queste cose attentamente, fate avanzare la barca alla velocità che volete, purché il moto sia uniforme e non vi siano oscillazioni qua e là. Scoprirete che nessuno degli eventi sopra citati è cambiato minimamente, né potrete dire da alcuni di questi se la barca si muove o è ferma. Le gocce cadranno come prima nel vaso, senza deviare a poppa, nonostante il fatto che mentre le gocce sono in aria la barca si muove di una lunghezza corrispondente a molti ponti. I pesci nella loro acqua nuoteranno verso prua senza meno fatica che verso poppa e raggiungeranno con uguale facilità tutti i punti della vasca. Infine, le farfalle e le mosche continueranno a volare indifferentemente verso ogni lato».

Esperimenti meccanici

Senza ricorrere a formule o strumenti elettronici, Galileo si accorse quindi che non ha senso parlare di "quiete" o di "moto", ma solo di moto relativo (sempre sulla base di esperimenti meccanici, gli unici allora noti).

Una conseguenza meno ovvia è che questo concetto cambiò il modo di considerare lo spazio-tempo. In precedenza, infatti, si pensava allo spazio come al "posto" in cui si susseguivano gli eventi, e dunque la frase "nello stesso posto in tempi diversi" aveva un valore assoluto.

Ma per un osservatore sulla barca di Galileo, per esempio, un pesce o una farfalla possono tornare "nello stesso posto" dopo qualche minuto, mentre per un osservatore sulla banchina del porto, la barca si sarà comunque mossa: nessuno degli animali può quindi tornare "nello stesso posto".

Galileo introdusse molti al-

Una rappresentazione del sistema solare tolemaico: la Terra al centro e i pianeti su sfere concentriche.

GRANDEZZE

Che cos'è che non cambia?

Per Galileo Galilei le grandezze invariabili erano molte: le lunghezze, gli intervalli di tempo, le forze, le accelerazioni, le masse.

Pesci relativi. Nella relatività classica un pesce non diventa più lungo o più pesante se chi lo misura è in movimento oppure se sta fermo. Anche i tempi rimangono invariati: un secchio bucato impiega sempre lo stesso tempo a svuotarsi, chiunque sia a fare la misura.

Quasi giuste. In realtà le misure galileiane erano approssimate: la loro validità era garantita dal fatto che le velocità in gioco erano molto piccole rispetto alla velocità della luce, una condizione nella quale le formule classiche sono valide ancor oggi.

Levatevi di sotto!
Sopra, una delle palle che Galileo faceva cadere dalla torre di Pisa per studiare la gravità.

Il primo cronometro
Galileo capì che nel pendolo le piccole oscillazioni sono costanti, e le usò per misurare il tempo.

Padre della relatività
Galileo Galilei, 1564-1642. Capì che le leggi della fisica non cambiano col movimento.

▶tri concetti che servirono come punto di partenza a Isaac Newton per sviluppare la teoria completa della meccanica classica. Le nozioni più importanti sono quelle di spazio, tempo, velocità, accelerazione, forza e massa.

Una delle osservazioni più importanti di Galileo fu che le oscillazioni di un pendolo possono essere prese come punto di riferimento per misurare il tempo, e quindi il movimento.

Cosa produce un'accelerazione?

Galileo Galilei fu il primo nella storia ad accorgersi di questo, e anche il primo in assoluto ad avere una chiara concezione di che cosa sia il movimento. Lo scienziato italiano notò anche che se su un corpo non agisce alcuna forza, questo continua a muoversi di moto rettilineo uniforme. Anzi, la forza è definita proprio come "ciò che produce un'accelerazione", come la spinta di un braccio (che fa aumentare la velocità) o l'attrito di una superficie (che la fa diminuire).

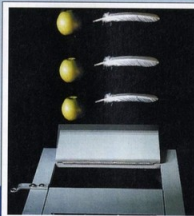
Ma per accelerare una palla di piombo occorre fare più fatica che per accelerare una palla di legno delle stesse dimensioni. In altre parole, a parità di forza esercitata, l'accelerazione di un corpo è inversamente proporzionale alla sua "quantità di materia", ossia alla sua massa inerziale.

Non solo, ma lasciando cadere oggetti dalla torre di Pisa, il grande scienziato capì che l'accelerazione di gravità è esattamente la stessa per tutti gli oggetti, ossia che "peso" (massa gravitazionale) e massa (inerziale) sono la stessa cosa (v. riquadro a destra).

Un'osservazione profetica

È per questo che una palla di legno e una di piombo cadono dalla torre di Pisa esattamente nello stesso modo. Un'osservazione profetica, questa, che ad Albert Einstein sarebbe servita come base per la teoria della relatività generale. ❑

UN ESPERIMENTO "PENSATO"

Così Galileo Galilei spiegò il suo principio di relatività ai suoi contemporanei: nessun fenomeno "meccanico" (cioè relativo al movimento) può far capire agli occupanti se la nave è in moto uniforme.

La prima regola d'oro? Togliere il disturbo...

Prima di poter stabilire che cosa sia davvero assoluto, cioè non dipenda dal punto di vista, bisogna eliminare tutti gli elementi di disturbo. A lungo, per esempio, si era creduto che la velocità di caduta degli oggetti dipendesse dal loro peso.
Attrito. Fu Galileo Galilei, facendo cadere pesanti palle dalla torre di Pisa, a dimostrare che non era così: la velocità di caduta era invece influenzata dall'attrito dell'aria, senza il quale una piuma e una mela (foto a sinistra) arriverebbero a terra contemporaneamente.
Conclusione: l'accelerazione di gravità è la stessa per tutti gli oggetti.

La luce mette il freno...

Crollano le certezze: tempi, masse e lunghezze diventano indeterminati. L'unico punto fermo è la velocità della luce.

Un rossore relativo
Un'immaginaria astronave: avvicinandosi alla velocità della luce vedrà le stelle "arrossarsi". Anche il colore, infatti, dipende dalla velocità.

IL PARADOSSO DEI DUE FULMINI

1 — Movimento del treno

2

3

Se la velocità della luce è costante, il concetto di contemporaneità diventa relativo. Ecco perché. Alle due estremità di un treno in movimento verso destra scoccano due fulmini nello stesso istante (1).
Ma una persona che si trovasse al centro del treno vedrebbe prima il lampo di destra (2) e poi quello di sinistra... i due eventi sarebbero contemporanei solo per una persona ferma rispetto al treno (3).

Nobel a 43 anni. Una rara foto di una lezione che Einstein tenne al Collège de France nel 1922, l'anno in cui (dopo varie candidature) vinse il Nobel.

Alla fine dell'Ottocento James Clerk Maxwell aveva completato la sua teoria dei fenomeni elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Tra gli scienziati, però, regnava il malcontento, perché la nuova teoria prevedeva che la luce avesse - nel vuoto - una velocità di 300 mila chilometri al secondo, ma non diceva rispetto a che cosa, quando ormai era assodato che la velocità dipende sempre dal sistema di riferimento.

Il fantomatico "etere"

Alla fine prevalse l'opinione che la velocità della luce fosse calcolata rispetto all'"etere", un mezzo ipotetico con la sola funzione di far propagare le onde elettromagnetiche.

Ma quando Albert Michelson ed Edward Morley decisero, nel 1887, di misurare la velocità della Terra rispetto all'etere, confrontando i percorsi di due raggi di luce, ebbero una grossa sorpresa: la velocità della luce è sempre perfettamente la stessa, sia nella direzione dell'orbita terrestre sia in quella perpendicolare.

Questo risultato portava a parecchi paradossi, per esempio faceva crollare il concetto di contemporaneità: due eventi potevano essere simultanei per un osservatore e separati per un altro osservatore (v. riquadro in alto a destra). Inoltre, negava (apparentemente) la relatività galileiana: la velocità della luce diventava infatti assoluta. Un fatto così sconvolgente, per l'epoca, che nemmeno Michelson, uno degli autori del fallito ma importantissimo esperimento del 1887, riuscì mai ad accettarne la conseguenza più clamorosa: la teoria della relatività ristretta di Einstein. Come consolazione, tuttavia, Michelson ricevette il premio Nobel, primo tra gli americani. Einstein capì che non c'era bisogno dell'etere, e che le equazioni di Newton erano approssimate: funzionavano bene solo per velocità non troppo elevate. Il principio di relatività di Galileo, invece, non andava affatto abbandonato, anzi, andava esteso anche alle misure elettromagnetiche: "È impossibile distinguere, sulla base di misure *di qualunque tipo*, un sistema in moto rettilineo uniforme da uno in quiete".

Lunghezze che si accorciano

Buttati via i vecchi libri di fisica, Einstein cominciò a rivedere i concetti di spazio e tempo, partendo da un'unica certezza: la velocità della luce non varia.

Il primo concetto da modificare, come già abbiamo detto, era quello di simultaneità: l'apparente paradosso nasce dal fatto che due orologi distanti, per sincronizzarsi, devono scambiarsi messaggi che si propagano - al più - alla velocità della luce. ▶

Un'eclisse per prova
L'eclisse del 1999. Proprio da un'eclisse, nel 1919, venne una conferma della relatività: la massa del Sole piegava la luce.

Utile fallimento
Albert Michelson: un suo esperimento (fallito) guidò Einstein alla teoria della relatività.

Fattore "c"
James Clerk Maxwell: nelle sue equazioni del 1873 compariva "c", la velocità della luce.

Ma se si perde la simultaneità, allora anche l'ordine degli eventi finisce per dipendere dal punto di vista! Per esempio può accadere che, in una gara di tiro con l'arco, un osservatore veda la freccia piantarsi nel bersaglio prima ancora che l'arciere la scocchi. Einstein dimostrò però che a questo estremo si arriverebbe solo superando la velocità della luce

E se il tempo si deforma, cosa succede allo spazio? Einstein si rese conto che la lunghezza di un oggetto in movimento dipende dal tempo, perché indica la posizione delle sue estremità nello stesso istante. E siccome il concetto di simultaneità è relativo, anche la lunghezza diventa relativa: un oggetto in movimento appare contratto nella direzione del moto.

Un treno ultrarapido

Riassumiamo con un esempio: siamo alla stazione e vediamo passare un treno velocissimo. I suoi passeggeri, il treno stesso, e tutti gli oggetti interni sarebbero contratti nella direzione del moto, e i loro movimenti sarebbero molto lenti. E come vedrebbero i passeggeri del treno le persone e gli oggetti della stazione? Precisamente allo stesso modo: accorciati e rallentati. Strano? Niente affatto: se vediamo una persona in lontananza e ci appare rimpicciolita, non ci sogniamo affatto che l'altra persona veda noi ingigantiti!

Ma le sorprese non finiscono qui. I passeggeri a bordo del treno, insieme al treno stesso, sarebbero anche incredibilmente pesanti. Einstein giunse a queste conclusioni come inevitabile conseguenza delle sue equazioni: fissando il valore di una grandezza, ne risultavano alterati tutti gli altri.

Un'altra conclusione, forse la più famosa, è l'equivalenza tra massa ed energia, riassunta nell'equazione $E = mc^2$. La stessa equivalenza si può esprimere dicendo che la massa di un corpo in quiete non è altro che una manifestazione dell'energia delle parti che lo compongono.

È per questo che non si può aumentare la velocità di un oggetto indefinitamente: oltre un certo punto l'energia aggiuntiva va ad aumentare la massa, non la velocità. E più la velocità cresce, più questi effetti si ingigantiscono. Alla velocità della luce il treno sarebbe allo stesso tempo infinitamente corto e infinitamente pesante.

Scontri al rallentatore

Speculazioni? No di certo, ma sono pochi i casi in cui le velocità diventano così alte da costringerci a mettere da parte le formule di Newton e usare quelle, più precise, di Einstein. Un esempio sono gli acceleratori di particelle, come il Lep al Cern di Ginevra, dove gli elettroni arrivano ad avere masse 10 mila volte maggiori di quella normale, e si "scontrano" quasi al rallentatore. ❑

GEOMETRIA Proprio tutto è relativo?

Nella relatività di Einstein sembra che davvero tutto, tranne la velocità della luce, sia relativo, ma non è così. Il problema è che per "vedere" le altre grandezze invarianti bisogna cambiare geometria.
Mere ombre. Chi se ne accorse fu il matematico lituano/tedesco Hermann Minkowski, che dimostrò una sorta di teorema di Pitagora: se prendiamo due punti di riferimento nello spazio-tempo, per esempio due campane che rintoccano in posti diversi, allora basta elevare al quadrato la distanza tra le campane e sottrarre il quadrato dell'intervallo di tempo tra i due rintocchi. Il risultato sarà sempre indipendente dalla velocità dell'osservatore. «Lo spazio in sé, e il tempo in sé, sono condannati a svanire in mere ombre» disse Minkowski. «Solo una sorta di unione dei due conserva una realtà indipendente».

Che cosa dice la relatività generale?

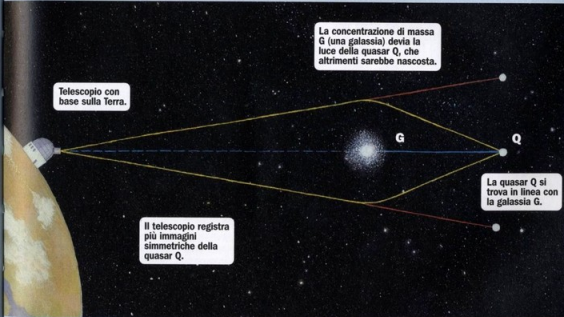
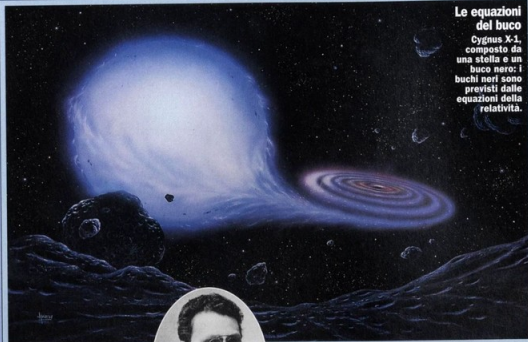
Dall'ultima parte della teoria di Einstein derivano i concetti più curiosi: raggi di luce curvi, buchi neri e onde gravitazionali.

Un miraggio cosmico
Una vera lente gravitazionale, detta "croce di Einstein": il punto al centro è una galassia, gli altri 4 sono "miraggi" di un'unica quasar.

Einstein non era soddisfatto. Sì, la teoria della relatività ristretta funzionava bene, ma soltanto per i sistemi inerziali (in altre parole, non era applicabile ai sistemi accelerati). Quando però si esce dall'astratto mondo dei modelli matematici e si entra nel mondo reale, una teoria del genere serve a poco, perché i sistemi accelerati sono ovunque. È accelerato un aereo che decolla, ma è accelerata anche una semplice giostra da luna park, perché ogni rotazione (che comporta un cambiamento nella direzione della velocità) equivale a un'accelerazione.

Fisica in caduta libera

Bisognava quindi generalizzare la relatività. A questo punto Einstein, rimuginando sul significato di accelerazione, ricordò gli esperimenti di Galileo dalla torre di Pisa ed ebbe un'altra illuminazione: immaginiamo di trovarci in un ascensore in caduta libera, con tutta la strumentazione possibile a disposizione per determinare il nostro stato di moto. Quale sarà il risultato delle misure? Risposta: sarebbe proprio come trovarsi nello spazio in assenza di gravità. Infatti, tutti gli oggetti e gli strumenti di misura cadrebbero insieme a noi, e quindi è come se non fossero accelerati per niente. La conclusione di Einstein è apparentemente banale: "Ogni sistema in caduta libera è localmente equivalente a un sistema inerziale". Ma attenzione: bisogna specificare "localmente", perché il principio è valido solo se le dimensioni dell'ascensore sono piccole rispetto a quelle della Terra, e durante un tempo breve rispetto a quello di caduta.

Il risultato è che tutte le leggi della relatività ristretta si ▶

Le equazioni del buco

Cygnus X-1, composto da una stella e un buco nero: i buchi neri sono previsti dalle equazioni della relatività.

Una nuova geometria

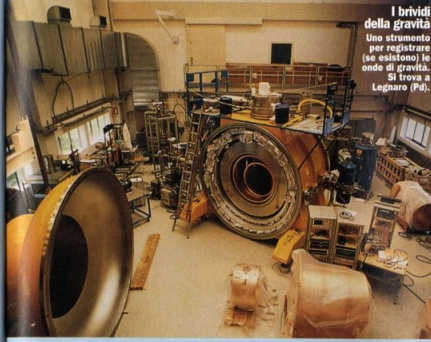
Hermann Minkowski, matematico tedesco di origine lituana: fu maestro di Einstein e diede alla sua teoria della relatività una descrizione geometrica.

possono ugualmente applicare ai sistemi in caduta libera, anche se solo localmente. Al contrario, trovarsi fermi in un campo gravitazionale, come quello terrestre, equivale a trovarsi in un sistema accelerato senza gravità, per esempio su un'astronave che sta accelerando (e infatti in molti romanzi di fantascienza si parla di gravità "artificiale" indotta dall'accelerazione o dalla rotazione). Insomma, nell'intento di generalizzare la teoria della relatività ristretta, Einstein si trovò a doversi confrontare con la teoria della gravitazione universale di Newton e ne approfittò per rivoluzionare anche questa.

Ecco infatti quali sono le conseguenze del principio di equivalenza esposto poche righe fa: immaginiamo che un aereo riesca a evitare, con una improvvisa accelerazione, un raggio laser sparatogli contro. In generale noi sappiamo che la luce si propaga in linea retta, ma dal punto di vista del pilota (cioè nel suo sistema di riferimento) il raggio laser percorre una traiettoria curva, evitandolo. Per via del principio di equivalenza, si può ugualmente pensare che il pilota fosse fermo in un campo gravitazionale e quindi si può dire che un campo gravitazionale fa curvare i raggi di luce. Einstein pensava allo spazio-tempo come a un complesso reticolo ondulato, nel quale la luce fosse obbligata a seguire le ondulazioni.

Le prove sperimentali

Il passo successivo fu quello di associare questa curvatura alla gravità: ogni corpo piega lo spazio-tempo proprio come farebbe una boccia posta su un telo elastico teso. È ovvio che la deformazione non riguarda solo lo spazio ma anche il tempo, che ormai sono da considerarsi entità inscindibili. A questo punto il gioco era quasi fatto, ma bisognava ancora scrivere le formule. Un lavoro che richiese a Einstein una decina d'anni, e che probabilmente fu possibile solo grazie all'aiuto del matematico italiano Tullio Levi-Civita, che proprio in quel periodo aveva sviluppato una nuova tecnica matematica: il "calcolo tensoriale". Adattissima a equazioni che devono descrivere uno spazio-tempo curvo. Nel 1915 la teoria era completa, e rispondeva finalmente a una domanda irrisolta della gravitazione di Newton: a che velocità si propaga la gravità? Semplice, rispose Einstein: alla stessa velocità della luce.

Una teoria così rivoluzionaria andava sperimentata. E fu così che l'eminente fisico britannico Arthur Eddington organizzò nel 1919 una spedizione sull'isola di Principe, al largo della costa africana, per osservare la posizione delle stelle vicino al Sole durante un'eclissi totale. Le osservazioni dimostrarono che il campo gravitazionale solare devia i raggi di luce emessi dalle stelle situate dietro il disco solare... e proprio nella misura predetta da Einstein.

Lo stesso principio è alla base del fenomeno delle "lenti gravitazionali". Un campo gravitazionale intenso, infatti, può deformare lo spazio-tempo a tal punto da funzionare come lente di ingrandimento e consentire lo "zoom" di galassie così lontane che non potrebbero essere viste altrimenti. E al tempo stesso sdoppiando la loro immagine. Un esempio di lente gravitazionale (oltre alla "croce di Einstein", foto nella pagina precedente) è l'ammasso di galassie Abell 2218.

Altre importanti conferme della teoria della relatività generale arrivarono negli anni Sessanta, quando verificarono che il tempo scorre tanto più lentamente quanto più forte è il campo gravitazionale. Sulla Terra l'effetto è piccolissimo, ma è stato misurato da Robert Pound e George Rebka, grazie a due orologi atomici posti nel seminterrato e sul tetto di un edificio alto 23 metri. La differenza è piccolissima (l'orologio in cantina impiegherebbe 32 milioni di anni per restare indietro di un secondo), ma aumenta quanto più si sale in quota, e diventa gigantesca in prossimità delle stelle più dense. Quando poi due stelle dense sono così vicine da ruotare l'una intorno all'altra in poche ore (come per la pulsar PSR 1913+16), il sistema dovrebbe emettere onde gravitazionali, cioè vibrazioni dello spazio-tempo, e le due stelle dovrebbero accelerare la rotazione avvicinandosi sempre più. Quest'accelerazione è stata osservata, confermando la relatività generale. Manca ancora una prova: captare un'onda gravitazionale. Sarebbe il definitivo trionfo di una teoria che ha finora sconfitto ogni scetticismo. ❑

Rivoluzione anomala.

Il pianeta Mercurio: la relatività ha spiegato un'anomalia nella sua orbita.

I brividi della gravità

Uno strumento per registrare (se esistono) le onde di gravità. Si trova a Legnaro (Pd).

Che cosa non cambia?

Lo spazio-tempo della relatività generale (pur con tutte le sue incurvature) è strettamente imparentato con quello della relatività ristretta. Dunque in esso valgono le stesse regole: la velocità della luce è sempre una costante assoluta, e la "lunghezza propria" è sempre una quantità invariante, purché la si misuri "localmente", ossia in regioni dello spazio-tempo piccole rispetto al suo raggio di curvatura.

Traiettorie. Un ultimo elemento che non dipende dal punto di vista è il moto di un corpo in caduta libera, cioè soggetto soltanto alla gravità: tutti gli osservatori lo vedranno cadere lungo la traiettoria più breve possibile nello spazio-tempo.

Per quale motivo la legna scoppietta?

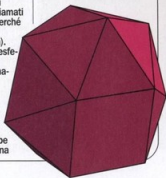
Le alte temperature della combustione fanno sciogliere le sostanze volatili della legna, che espandendosi la rompono.

Per effetto del calore sviluppato dalla combustione. Le sostanze volatili contenute nella legna vengono dapprima sciolte e poi vaporizzate. Con l'aumento della temperatura il gas che così si forma esercita una pressione crescente contro le pareti legnose, che si spaccano, producendo il tipico crepitìo del caminetto acceso.

Legna verde. Se la legna è resinosa o non perfettamente essiccata, quindi più ricca di sostanze volatili, lo scoppiettìo aumenta. ❑

GEOMETRIA Che cos'è un'ebesfenomegacorona?

È un solido irregolare a 21 facce, 18 delle quali triangolari e 3 quadrate (v. disegno). Questo strano nome gli venne attribuito nel 1969 dal matematico Viktor Zalgaller, in un articolo in cui dimostrava l'esattezza di una congettura riguardo un insieme di 92 poliedri irregolari convessi chiamati "solidi di Johnson" (perché definiti da Norman Johnson 3 anni prima).

Impronunciabili. Ebesfenomegacorona è il risultato della combinazione di 4 termini: *hebes* ("ottuso" in latino), *sphenós* (dal greco "cuneo"), *mégas* ("grande" in greco) e *corona* (dal latino). Significherebbe dunque "grande corona ottusa cuneiforme". Tra gli altri fantasiosi nomi dati a questi solidi: bilunabirotonda, girobifastigio, disfenocingolo, ortobicupola triangolare, disfenoide dilatato, dipiramide quadrata giroallungata e rombicosadodecaedro metabidiminuito.

Un falò sulla spiaggia. Il crepitìo del fuoco è causato dalla legna che si spacca.

FISICA

Gli atomi sono colorati?

Gli atomi possono emettere o riflettere luce solo a specifiche lunghezza d'onda (ovvero colori), e in questo senso si può dire che siano colorati. Dato però che sono piccolissimi (la loro dimensione è di circa 10 miliardesimi di centimetro) la luce prodotta da un singolo atomo è troppo debole per poter essere percepita dall'occhio umano.

Fotoni. Quando la luce colpisce un atomo, interagisce con i suoi elettroni. Uno di essi può allora acquistare energia assorbendo un fotone (vale a dire una particella di luce) di una determinata lunghezza d'onda o colore. Viceversa, può "scaricarsi" emettendo un fotone di colore pari a quello assorbito.

A riposo. Normalmente gli elettroni di un atomo si trovano nello stato energetico più basso possibile (sono in un certo senso "scarichi"), quindi nell'interazione con la luce prevale l'assorbimento.
Per esempio, quando il sodio viene illuminato assorbe i fotoni giallo-arancio della luce e riflette quelli blu-violetto: nel complesso, il sodio ci appare allora di questo colore.

Eccitati. Quando però si fornisce energia extra all'atomo, per esempio scaldandolo, gli elettroni si "caricano". E tornando allo stato energetico fondamentale emettono fotoni dello stesso colore (giallo-arancio) di assorbimento.

Perché in montagna c'è meno polvere?

Uno dei motivi è che non ci sono acari, che non sopravvivono oltre i 1.500 metri di altitudine.

Soprattutto perché ci sono meno smog e polveri sottili e perché le particelle più piccole tendono a depositarsi a valle. La polvere è infatti costituita da particelle microscopiche di varia origine: frammenti di pelle, polline, batteri, fibre animali e vegetali, granelli di minerali, particelle di fumo e catrame. Sospesi nell'aria delle grandi città, ci possono essere alcuni milioni di particelle per centimetro cubo, mentre sugli oceani o in alta montagna sono soltanto alcune migliaia.

Anallergica. In alta montagna, inoltre, ci sono meno acari, minuscoli aracnidi tra i principali responsabili - con le loro feci - della cosiddetta allergia alla polvere. Sopra i 1.500 metri di altitudine gli acari non sopravvivono, a causa delle avverse condizioni di temperatura, umidità e pressione dell'aria: anche l'allergia, quindi, spesso sparisce. ❑

Sul Piz Boè (3.152 m) nelle Dolomiti dell'Alto Adige. La scarsità di smog e polveri sottili, insieme al vento, rendono più pura l'aria di montagna.

MICROSCOPI

Come funziona un microscopio ottico?

Al microscopio ottico in India.

Il microscopio ottico funziona come due lenti di ingrandimento montate una dopo l'altra. La prima (l'obiettivo) raccoglie l'immagine dell'oggetto che si sta osservando e la proietta, ingrandita, su un piano all'interno del tubo del microscopio. Da qui la seconda lente (l'oculare) la raccoglie e la proietta, ingrandendola ancora, nell'occhio dell'osservatore o in una telecamera. Il numero di ingrandimenti totale è il prodotto degli ingrandimenti dell'obiettivo e dell'oculare. Se, per esempio, entrambi ingrandiscono 10 volte, il numero totale di ingrandimenti sarà 100.

Illuminati. Più piccoli sono gli oggetti da osservare, però, maggiore è la dispersione della luce che li illumina. E peggiore la qualità dell'immagine ingrandita. Si ricorre allora a particolari sistemi di illuminazione o all'immersione dell'obiettivo in un olio speciale, che, deviando in maniera diversa dall'aria i raggi luminosi, fa sì che questi vengano "catturati" più efficacemente.

FISICA Perché l'acqua pare più fredda dell'aria alla stessa temperatura?

La sensazione che materiali diversi, pur alla stessa temperatura, producono sul corpo umano, dipende dalla loro diversa "conducibilità termica" (cioè la capacità di trasportare il calore). Se il materiale con cui veniamo a contatto ha una temperatura più bassa di quella del nostro corpo, una parte del nostro calore fluisce verso di esso. Ma questo processo è tanto più rapido quanto maggiore è la conducibilità termica del materiale.

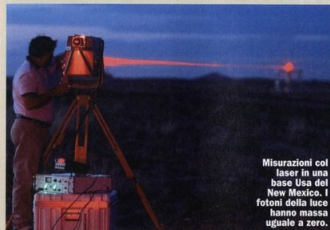
Conduttori. L'aria è uno dei materiali che conduce peggio il calore. Lo dimostra il fatto che possiamo infilare una mano nel forno di casa senza scottarci (a patto di non toccarne le pareti metalliche). L'acqua conduce invece il calore circa 26 volte meglio dell'aria secca (cioè contenente poco vapore acqueo). Di conseguenza, immergersi in una piscina a 25 °C, per esempio, produce una sensazione di freddo maggiore che stare in una stanza alla stessa temperatura.

Raffiche di vento sui marciapiedi ghiacciati di Chicago, in una foto degli anni Cinquanta.

Perché sul ghiaccio si scivola?

Quando fa veramente freddo, sul ghiaccio non si scivola, perché non si produce un calore sufficiente a scioglierlo.

Perché, quando vi camminiamo sopra, il calore generato dalla pressione del peso del corpo e dall'attrito delle scarpe scioglie un sottile strato di ghiaccio, formando una pellicola d'acqua liquida. Questa agisce da lubrificante, giusto il tempo di farci scivolare, e poi risolidifica immediatamente.

Una particella può non avere massa?

Misurazioni col laser in una base Usa del New Mexico. I fotoni della luce hanno massa uguale a zero.

Sì, ma solo a patto che si muova alla velocità della luce. Il caso più noto è quello del fotone, il quanto (cioè la particella fondamentale) della luce. Che la sua massa sia uguale a zero è anzi una condizione necessaria per poter considerare la velocità della luce una costante fondamentale della natura. Se così non fosse, molte leggi della fisica andrebbero riviste. In realtà, dal punto di vista sperimentale, possiamo soltanto assicurare che il fotone ha una massa inferiore a un certo valore, sia pure piccolissimo: un milionesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di grammo.

Quasi nulla. Altre particelle, invece, hanno una massa a riposo (cioè "da ferme") così piccola che in pratica risulta difficile misurarla. Come nel caso del neutrino, del quale si può solo dire che ha una massa almeno 25 mila volte più piccola di quella dell'elettrone.

ACUSTICA Perché i bicchieri suonano passandovi un dito bagnato sopra?

Ogni materiale ha una propria frequenza alla quale vibra naturalmente, detta frequenza di risonanza. Fornendo al materiale energia a quella frequenza, lo si induce pertanto a vibrare. È ciò che accade strofinando con un dito inumidito il bordo di un bicchiere: si trasferisce energia alle molecole del vetro, che entrano in risonanza. La vibrazione si propaga nel vetro e fa vibrare alla stessa frequenza anche l'aria contenuta nel bicchiere sopra al livello del liquido: questa trasporta quindi la vibrazione meccanica (cioè il suono) fino all'orecchio.

Organo ad acqua. La variazione di nota che si ottiene aggiungendo o togliendo liquido (nota acuta con bicchiere pieno, bassa con bicchiere vuoto) in realtà non dipende dal livello del liquido ma da quello dell'aria, che cambia di conseguenza. Come accade in un organo, in cui le canne corte producono suoni acuti, così aggiungendo liquido nel bicchiere (quindi diminuendo la quantità di aria residua) si produce una nota più acuta.

A che cosa serve, praticamente, la meccanica quantistica?

La meccanica quantistica, che studia il mondo delle particelle atomiche, sembra lontanissima dalla realtà quotidiana. Ma non è così.
È grazie allo sfruttamento delle sue leggi, infatti, che funziona la maggior parte delle apparecchiature elettroniche (i cui diodi, transistor ecc. sono basati sul comportamento degli elettroni) o il laser dei lettori di cd (che utilizzano invece le proprietà della luce).

Superquanti. Applicazioni meno comuni sono quelle legate alla produzione di energia nucleare, al campo medico (per esempio nella risonanza magnetica) o allo studio della materia (per esempio nei microscopi elettronici e a effetto tunnel). E presto la meccanica quantistica potrebbe servire a costruire robot di dimensioni molecolari e computer quantistici dalle prestazioni eccezionali.

Le leggi della meccanica quantistica stanno dietro anche ai lettori audio.

Che cos'è la termodinamica?

Anche gli uomini primitivi si rendevano conto dell'esistenza del calore. Eppure abbiamo capito la sua natura, e le sue leggi, solo due secoli fa.

Dalla luce all'elettricità
La centrale California solar one. Qui si realizza una delle tante possibili trasformazioni dell'energia: la luce diventa corrente elettrica.

Che cos'è il calore? Fino a tutto il Settecento si pensava che fosse un fluido che scorre tra oggetti a temperatura diversa. Poi Benjamin Thompson e James Joule capirono che il calore è energia (ma a guadagnarsi fama eterna fu solo il secondo: ancora oggi, infatti, la parola "joule" è usata come unità di misura dell'energia). Da questa comprensione sarebbe ben presto nato un nuovo grande ramo della fisica: la termodinamica.

La scienza delle mutazioni

Così come la meccanica si occupa, tra l'altro, delle leggi che governano la caduta dei corpi, la termodinamica studia dunque il calore: il modo in cui questo si trasmette, la sua capacità di trasformarsi in altre forme di energia, il modo in cui altera le altre proprietà dei corpi, convertendo per esempio un solido in un liquido. Le sue applicazioni? Infinite: dai motori ai frigoriferi, dalla vita sulla Terra all'evoluzione dell'universo. E, fatto più curioso, questa disciplina si basa su tre sole leggi o, meglio, tre princìpi.

Energia: capacità di fare lavoro

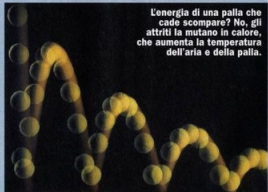
Il calore è una forma di energia, e l'energia non si crea né si distrugge (ma si trasforma in continuazione). Questo, in sintesi, afferma il primo principio.

Ma che cos'è l'energia? Non è facile rispondere, perché tutto è energia, dal tepore ▶

1° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Il calore è energia. E l'energia non si crea né si distrugge

Un frigorifero: il suo motore produce freddo all'interno, ma "pompa" calore all'esterno. Il calore totale cresce.

L'energia di una palla che cade scompare? No, gli attriti la mutano in calore, che aumenta la temperatura dell'aria e della palla.

Dalla chimica al calore
Un incendio. La combustione è un processo chimico che produce molto più calore di quanto ne serva per innescarlo.

del termosifone all'esplosione di una bomba, dalla luce alla materia stessa. Una definizione precisa, tuttavia, esiste: l'energia di un oggetto è la sua capacità di "fare lavoro", ossia di esercitare una forza producendo uno spostamento. Un esempio? Se si spinge un'auto in panne allora si fa del lavoro (e si spende energia). Questo lavoro è pari alla forza applicata moltiplicata per lo spostamento ottenuto. Quando l'auto non è guasta, il lavoro lo fa il motore: l'energia è prodotta dallo scoppio della miscela di benzina e aria che fa muovere il pistone. In parole povere, è energia l'attitudine a produrre movimento.

E il calore? Quando scaldiamo un oggetto, ne aumentiamo l'energia interna, accelerando i suoi atomi. Questo aumento di energia interna è ciò che chiamiamo comunemente calore. Conclusione: la temperatura di un corpo è la nostra percezione dei movimenti delle sue particelle.

Ma si possono utilizzare questi movimenti microscopici per far girare un motore? La termodinamica, in un certo senso, è nata proprio per rispondere a questa domanda.

Dal vapore alla dieta alimentare

La prima risposta che ha dato, la più rozza, si basa sul primo principio, e dice: certo che si può produrre lavoro grazie al calore, purché nel processo non si crei né si distrugga energia. Per esempio, scaldando dell'acqua si può produrre vapore e poi utilizzarlo per azionare una turbina. Il primo principio si ritrova dappertutto, anche nella dieta. Infatti, se si mangia in abbondandanza, l'energia (chimica) fornita dal cibo va smaltita facendo movimento. In caso contrario si creano depositi di grasso (altra forma, potenziale, di energia). E non è un caso che si parli di calorie: la caloria è una vecchia unità di misura del calore. Per l'esattezza, è il calore necessario a riscaldare un grammo d'acqua da 14,5 °C a 15,5 °C. Dal punto di vista energetico, la caloria è l'energia che serve a sollevare 4,186 chili di un metro in un secondo. Poco? Solo in uno zampone ci sono circa 2.500 chilocalorie, abbastanza per sollevare 10 tonnellate di un chilometro in un secondo.

La transizione di fase

Quando si fornisce calore a un oggetto, dunque, si aumenta la sua energia interna. Ma non sempre questo ha l'effetto di aumentarne la temperatura. Durante l'ebol-▶

UNA STORIA FATTA DI INTUIZIONI

Benjamin Thompson
Inglese (1753-1814). Notò che le cannonate producono calore, e ne dedusse che il calore è movimento.

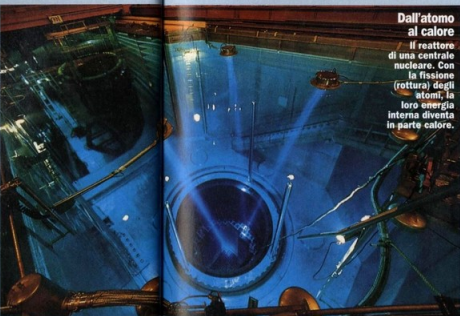
N.L. Sadi Carnot
Francese (1796-1832). Il suo studio del 1824 sulla "potenza motrice del fuoco" è alla base del 2° principio.

William Thomson (Lord Kelvin)
Inglese (1824-1907). Con Clausius ha formulato il 2° principio. È sua la scala assoluta di temperatura.

Rudolf J.E. Clausius
Tedesco (1822-1888). Con Lord Kelvin ha introdotto il concetto di entropia e il 2° principio.

Ludwig Boltzmann
Austriaco (1844-1906). Ha collegato entropia e probabilità, fondando la termodinamica statistica.

Ilya Prigogine
D'origine russa (1917-2003). Le "strutture dissipative" descrivono in senso termodinamico gli esseri biologici.

Dal petrolio all'elettricità
Centrale elettrica: muta l'energia chimica dei combustibili in elettricità.

Dall'atomo al calore
Il reattore di una centrale nucleare. Con la fissione (rottura) degli atomi, la loro energia interna diventa in parte calore.

Dalle maree all'energia
La centrale di Saint-Malo, in Francia, ricava energia dalle maree: in pratica, trasforma la gravità della Luna in elettricità.

Dall'altezza all'elettricità
Una diga in Camerun. Ogni dislivello del terreno è fonte di energia potenziale e l'acqua, cadendo, cede questa energia.

▶lizione per esempio, e cioè a 100 gradi, purché ci si trovi a livello del mare e quindi alla pressione di 1 atmosfera, l'acqua viene trasformata da liquido a gas. In questo caso, fornire più calore serve soltanto a far evaporare l'acqua più velocemente. Ecco perché, quando l'acqua bolle, conviene abbassare la fiamma: la temperatura resta comunque di 100 gradi e si risparmia gas. Questo fenomeno si chiama "transizione di fase".

I limiti del primo principio

Se la termodinamica si fosse fermata al primo principio, molte domande sarebbero rimaste senza risposta. Per esempio, perché non capita che il vapore ridiventi acqua in una pentola vuota, cedendo calore all'ambiente? Oppure, domanda equivalente: perché non si riesce a trasformare completamente il calore in lavoro?

Qualunque motore, infatti, dai primitivi sistemi a vapore alle più moderne turbine, sfrutta solo una parte dell'energia fornita (spesso non più del 25 per cento). All'inizio dell'Ottocento si pensava che fosse soltanto una questione tecnica. Invece non era così: anche se il primo principio della termodinamica permetterebbe di trasformare interamente il calore in lavoro, c'è un guastafeste che lo rende impossibile: il secondo principio. ❑

Entropia e moto perpetuo

Il secondo principio? Un vero rompiscatole: vieta il moto perpetuo e, soprattutto, aumenta l'entropia. E ci fa invecchiare.

Possiamo dire che il Sole è giallo. Oppure possiamo dire che ha un picco di emissione elettromagnetica intorno alla lunghezza d'onda di 0,58 micron. Allo stesso modo, anche il secondo principio della termodinamica ha varie formulazioni, ciascuna delle quali aiuta a capirlo un po' di più. Eccone tre: «Il calore va, spontaneamente, sempre da un corpo più caldo a uno più freddo». Oppure: «È impossibile trasformare calore in lavoro, senza altre conseguenze, "prelevandolo" da un'unica sorgente» (in caso contrario potremmo assorbire calore dall'oceano, diminuendone la temperatura ma procurandoci un'energia praticamente illimitata). O ancora: «In natura esistono processi, come un fiammifero che brucia o un bambino che cresce, che possono svolgersi solo in un senso».

Che cos'è l'entropia

Fermiamoci all'ultima affermazione. Sembra ovvia, ma le leggi della fisica microscopica (meccanica, elettrodinamica, cromodinamica...) sono invece reversibili. Da dove nasce, allora, l'irreversibilità? Risposta: si tratta di un fenomeno statistico. Il fatto è che tutti gli oggetti macroscopici sono formati da una miriade di particelle microscopiche. In una goccia d'acqua, per esempio, si trovano miliardi di miliardi di miliardi di atomi, a loro volta composti da migliaia di particelle elementari (elettroni, quark, antiquark, gluoni...). Eppure possiamo definire la goccia in base a poche caratteristiche, come forma, peso e temperatura, che non dipendono certo dalla sua particolare configurazione microscopica: se rallentiamo una molecola per accelerarne un'altra, la goccia non cambia. Ebbene, più sono i modi in cui la goccia può ▶

2° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Il calore fluisce spontaneamente dai corpi più caldi a quelli più freddi. Mai viceversa

Aratura a vapore
Un trattore a vapore in Nuova Zelanda. Le prime macchine a vapore sfruttavano appena il 2% del calore prodotto.

Termografia di un corpo umano. Noi stessi siamo "macchine termiche": la digestione sviluppa calore, che in parte riemettiamo all'esterno (aree più rosse).

Energia dalla crosta

L'impianto geotermico di Wairakei, Nuova Zelanda: trae energia dal calore che fuoriesce dalla crosta terrestre, qui molto sottile.

IL CICLO PIÙ SEMPLICE? È QUELLO DEL VAPORE

Il calore prodotto dalla fiamma viene in parte sprecato, in parte usato per produrre movimento, in parte restituito all'atmosfera.

Motore

Pompa

Caldaia

Sistema di raffreddamento

1. Il calore è prodotto dalla combustione di legna o carbone, con il contributo dell'ossigeno dell'aria, e utilizzato per far evaporare l'acqua della caldaia.

2. Il vapore acqueo, che si trova in uno stato di alta temperatura e di alta pressione, può spingere i pistoni o azionare una turbina, creando così movimento da trasmettere alle ruote.

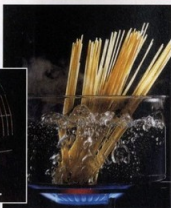
3. Il vapore cede poi il suo calore residuo all'acqua fredda, ed è reimmesso in circolo.

COME SI TRASMETTE IL CALORE?

1. Convezione

Ci sono 3 modi per trasmettere il calore. Il primo, la convezione, riguarda i fluidi: le parti più calde del fluido, più leggere, si spostano verso l'alto. Come in una pentola sul fuoco (a destra).

2. Irraggiamento

Il calore si trasmette anche tramite i raggi infrarossi emessi da corpi caldi come il Sole (o una stufa). Così si propaga anche nel vuoto.

3. Conduzione

La conduzione termica è la trasmissione di calore all'interno dei corpi, o per contatto: è più rapida nei metalli.

▶cambiare dal punto di vista microscopico, restando però identica dal punto di vista macroscopico, e più è elevata la sua entropia. Questa grandezza è la misura del "disordine" microscopico di un sistema. Quel che succede in un processo irreversibile è che parte dell'energia degli oggetti coinvolti va ad aumentare il loro disordine interno (cioè va a perdersi nel movimento microscopico delle particelle che lo compongono) e non può più essere utilizzata per creare lavoro macroscopico.

Più precisamente, l'entropia di un sistema isolato, che cioè non scambia né calore né lavoro con l'esterno, non può mai diminuire. In pratica, l'irreversibilità è spesso prodotta da un fenomeno molto comune: l'attrito.

Motori veri, teorici e bufale

Ma non dimentichiamo che la termodinamica è nata per rispondere a una domanda pratica: come convertire il calore in lavoro? Abbiamo visto che ciò è possibile (grazie al primo principio) ma solo in parte (per colpa degli attriti). Anche se non ci fossero affatto attriti, tuttavia, sarebbe ugualmente impossibile raggiungere un'efficienza del 100%: lo dimostrò nel 1824 il francese Sadi Carnot, immaginando un ciclo ideale in quattro fasi, nel quale un gas prende calore da una sorgente più calda e lo trasferisce a una sorgente più fredda compiendo del lavoro. Due le conclusioni: primo, che è impossibile trasformare tutto il calore in lavoro; secondo, che l'efficienza del ciclo dipende soltanto dalla differenza tra le temperature delle due sorgenti. Il rendimento dei cicli reali, come quelli dei motori delle automobili, è ancora minore, soprattutto perché basato sulla combustione: una parte del lavoro prodotto è infatti utilizzato per l'iniezione del carburante e per lo scarico. Il ciclo Diesel o il ciclo Otto (macchine a benzina) hanno per esempio un'efficienza reale pari rispettivamente al 45% e 35-40%, contro un'efficienza teorica massima del 73%. Corollario: il moto perpetuo è impossibile... anche se gli uffici brevetti di tutto il mondo continuano a ricevere progetti di macchine che, secondo gli ideatori, produrrebbero più energia di quanta ne ricevano.

Improbabile universo

L'energia, dunque, tende a "degradarsi" o, meglio, a di-▶

stribuirsi tra i corpi in contatto termico fino a che tutti non raggiungono la stessa temperatura. È a questa legge non sfugge l'universo stesso. Le stelle, per esempio, prima o poi si spegneranno e il cosmo intero diventerà una "zuppa" a temperatura uniforme e bassissima in cui non sarà possibile alcuna forma di vita né alcuna forma di movimento macroscopico. Perché, come abbiamo visto, nessuna macchina (o organismo) può funzionare estraendo calore da un'unica sorgente.

Questo scenario catastrofico è una diretta conseguenza del secondo principio, e fu predetto da Rudolf Clausius. Ma come mai non si è ancora verificato, dal momento che la nascita dell'universo risale a dieci o forse 15 miliardi di anni fa? La risposta è: per miracolo. Infatti l'universo è nato con un'entropia incredibilmente bassa, che ha continuato a crescere per miliardi di anni, fino a ora, e continuerà a farlo ancora per molto tempo. Secondo il matematico britannico Roger Penrose, la probabilità che l'universo nascesse in uno stato così ordinato è un numero decimale che inizia con zero e ha, dopo la virgola, un numero di zeri maggiore del numero di particelle che esistono nell'universo. ❑

Arriveremo mai allo zero assoluto?

Siamo arrivati a 3 decimiliardesimi di grado, ma lo 0 è una meta impossibile. La colpa è del 3° principio della termodinamica.

Gli scienziati non ci hanno messo molto per trovare una scappatoia ai vincoli del secondo principio: per ottenere un'efficienza del 100% (a parte l'eliminazione degli attriti, che può essere considerata una pura difficoltà tecnica) basterebbe che la sorgente più fredda avesse la temperatura dello zero assoluto. Ma che cos'è lo zero assoluto? Abbiamo visto che la temperatura è una misura del movimento microscopico degli atomi: più bassa è la temperatura, minore è il movimento. Ebbene, allo zero assoluto, che corrisponde a -273,15 °C, il movimento di atomi e molecole è il minimo consentito dalle leggi della meccanica quantistica (si parla di "energia di punto zero"). Raggiungere questa temperatura è però, a sua volta, impossibile: lo scoprì il chimico tedesco Walther Hermann Nernst, che ne diede anche una serie di dimostrazioni sperimentali, grazie alle quali conseguì il premio Nobel nel 1920. In tal modo anche l'ultima scappatoia era eliminata, e la possibilità di creare un motore perfetto veniva esclusa. Gli scienziati continuano in ogni caso a cercare di raggiungere temperature sempre più basse: l'attuale record resiste dal 1993 ed è stato ottenuto in Finlandia, in un laboratorio dell'Università di Helsinki: 0,00000000028 gradi sopra lo zero assoluto. Quest'ultimo è inoltre il punto di partenza della scala termometrica assoluta detta Kelvin, dal nome dello scienziato che la propose. In questa scala i gradi sono uguali a quelli centigradi, ma lo zero corrisponde a -273,15 °C.

Una volta codificato anche il terzo principio, le basi della termodinamica erano poste... ma non del tutto. Nel 1930 gli studiosi si resero infatti conto che tutte le loro misurazioni si basavano sul concetto di temperatura, ma che la temperatura non era mai stata definita in maniera adeguata. Fu elaborato così il "principio zero": «La temperatura è la quantità che caratterizza tutti gli oggetti in equilibrio termico (ossia senza passaggio di calore) tra loro». Per fortuna non si dovette attendere il principio zero per avere i primi termometri e le prime scale termometriche. Quella Celsius, che usiamo a tutt'oggi, risale al '700. Lo svedese Anders Celsius attribuì il valore 0 alla temperatura del ghiaccio che fonde e il valore 100 alla temperatura dell'acqua che bolle, poi suddivise l'intervallo in parti uguali definendo il grado centigrado. Però a pressione atmosferica inferiore, cioè in montagna, l'acqua bolle a meno di 100 °C. L'ambiguità fu risolta quando si scoprì il punto triplo dell'acqua, una temperatura alla quale coesistono in equilibrio acqua, ghiaccio e vapore: in montagna o a livello del mare vale sempre 0,01 °C. ❑

3° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Raggiungere lo zero assoluto è impossibile

PRINCIPIO ZERO

Se tra due corpi in contatto non scorre calore, allora hanno la stessa temperatura. E viceversa

METEOROLOGIA Con la termodinamica potremo prevedere cicloni e uragani?

Anche i cicloni sono macchine termodinamiche. I loro vortici nascono infatti dalla differenza di temperatura tra le acque dell'oceano (circa 30 gradi) e l'aria freddissima (-70 gradi) della troposfera, 15-20 chilometri più in alto. Ma il loro percorso rimaneva imprevedibile. Finora.

Uragano Andrew. Kerry Emanuel, del Massachusetts Institute of technology, ha elaborato una tecnica che permette previsioni accurate basandosi su tre dati: l'intensità iniziale dell'uragano, lo stato termodinamico dell'atmosfera attraversata e lo scambio di calore tra la superficie dell'acqua e il nucleo del ciclone. Un controllo su uragani del passato, come Andrew (1992) e Opal (1995), ha dimostrato che il metodo funziona.

I motori del futuro? Perpetui no, ma quasi

Ricchezza per tutti e fine dell'inquinamento... ecco gli effetti di un motore "a moto perpetuo". Ma, come dice il secondo principio, costruirlo è impossibile. Questo non significa però che non si stiano progettando motori molto più efficienti di quelli attuali.

Per benzina il rumore. Come quello presentato qualche anno fa da S. Backhaus e G.W. Swift, due scienziati dei Laboratori nazionali di Los Alamos, nel New Mexico (Usa): un prototipo di motore senza parti meccaniche e quindi senza bisogno di manutenzione. Il motore si basa sull'effetto termoacustico, ossia trasforma calore in energia acustica e viceversa. Un'altra nuova idea è quella del refrigeratore magnetico: si basa sul fatto che un materiale magnetico si scalda in presenza di un campo magnetico e si raffredda quando il campo è rimosso.

La cascata eterna
In questo quadro "impossibile" di M.C. Escher il moto perpetuo è creato giocando sulle regole della prospettiva.

Freddo, superfreddo
Il criostato con cui George Pickett, alla Lancaster University (Uk), è arrivato a 0,000007 °K.

Stanza "fredda" Stanza "calda"

Il diavoletto di Maxwell

È un famoso paradosso: in due camere a contatto ci sono molecole "calde" e "fredde"; se un diavoletto aprisse la porta per far passare quelle "calde" dalla stanza più fredda a quella più calda, violerebbe il 2° principio. Pur lasciando il sistema inalterato, infatti, il calore passerebbe da un corpo freddo a uno più caldo. Ma per aprire la porta al momento giusto il diavoletto deve vedere le molecole e per vederle deve illuminarle, cioè fornire loro energia: così il sistema non è più inalterato e il 2° principio è salvo.

Quando si è in acqua c'è pericolo per i fulmini?

Piscina pericolosa
Quando c'è un temporale, è bene uscire dall'acqua (anche in piscina).

Se ci si basa sui danni provocati a terra dai fulmini, si vede che il loro diametro è relativamente piccolo: va da 2 a 100 mm.

Uno studio della Nasa, che ha tenuto sotto controllo i fulmini caduti per alcuni anni sul nostro pianeta, ha dimostrato che in generale le saette preferiscono cadere sulla terraferma o in mari ristretti, come il Mediterraneo o il golfo del Messico.

In ogni caso, quando un fulmine colpisce la superficie del mare, l'energia si diffonde in tutte le direzioni, perché l'acqua conduce bene l'elettricità. Il fulmine può uccidere i pesci e può ferire (o più raramente uccidere) una persona nel caso in cui cada entro un raggio di 30-40 metri.

Al riparo. Al momento, tuttavia, non esistono statistiche sulla mortalità degli animali in acqua in seguito ai fulmini. Mentre è noto che il 10-20% delle persone colpite da una saetta (all'asciutto) rimane ucciso. In ogni caso, comunque, se mentre si fa il bagno scoppia un temporale, è meglio tornare velocemente a riva e mettersi al riparo. ❑

Si può ascoltare la musica sott'acqua?

In acqua le onde sonore si propagano a circa 1.400 metri al secondo, mentre nell'atmosfera la velocità è prossima ai 330 m/s. Tale differenza, tuttavia, non incide sulla qualità del suono percepito dall'orecchio umano, tant'è vero che chi pratica il nuoto sincronizzato si muove al ritmo di una melodia che viene diffusa anche sotto la superficie. Studi recenti, inoltre, hanno dimostrato che l'ascolto sott'acqua, oltre che dal timpano, avviene anche attraverso le vibrazioni del cranio, il quale recepisce le onde sonore provenienti da un liquido in misura maggiore di quelle che si propagano nell'aria (o, più in generale, all'interno di un gas).

Attutito. L'unico inconveniente può essere rappresentato dalla discontinuità del mezzo di trasmissione: una bolla d'aria nell'orecchio può essere sufficiente per innescare un fenomeno di riflessione e ridurre l'intensità del suono (e quindi il suo volume). In mare poi, esattamente come succede con il vento nell'atmosfera, vanno considerate le correnti, che possono deviare o distorcere le onde sonore.

Come ci si salva da un fulmine?

Se ci si trova all'aperto durante un forte temporale, bisogna cercare un riparo non appena si sentono i primi tuoni. Una casa è il posto più sicuro: evitare però di accendere apparecchi elettrici e staccare il cavo dell'antenna dal televisore. La sua "punta" sul tetto potrebbe comportarsi come parafulmine e se non è perfettamente messa "a terra", potrebbe condurre la scarica elettrica dritta alla tv, facendola esplodere.

Se si resta all'aperto, allontanarsi dagli alberi: colpiti da un fulmine esplodono come bombe, a causa della istantanea vaporizzazione della linfa. Meglio rannicchiarsi, evitando di sdraiarsi per terra: se il fulmine colpisse il suolo vicino, la superficie del corpo attraversata dalla corrente sarebbe maggiore.

Ottima soluzione è restare in auto, senza toccare parti metalliche e tenendo i finestrini chiusi: l'elettricità "scorrerà" sulle pareti senza raggiungere l'interno dell'auto.

FENOMENI

Perché le dita si appiccicano alla vaschetta del ghiaccio?

Quando prendiamo il contenitore del ghiaccio dal freezer, l'umidità sempre presente sulla pelle congela immediatamente, formando un sottile strato di ghiaccio che si salda con quello presente sulla vaschetta. La sensazione di "incollamento" è particolarmente forte se la vaschetta è di metallo o di un altro materiale che conduce bene il calore, piuttosto che di plastica.

Perché il burro, quando viene scaldato, diventa trasparente?

La trasparenza di una sostanza dipende dalla capacità che ha di riflettere o trasmettere la luce. Quando un fascio di luce colpisce un oggetto, se lo attraversa lo fa apparire trasparente (o quasi). Se invece viene in buona parte riflessa, l'oggetto ci appare opaco. La trasparenza è legata anche all'indice di rifrazione, che misura la capacità dell'oggetto di deviare la luce che passa al suo interno.

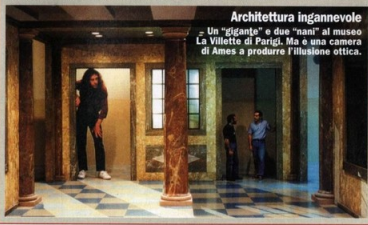
Color burro. Quando la luce colpisce la superficie di un panetto di burro (solido) viene quasi del tutto riflessa (a parte alcuni piccoli assorbimenti, che ne determinano il colore giallino); esso quindi risulta opaco. Allo stato fuso, invece, le sue molecole sono meno compattate tra loro e permettono alla luce di "passare". In quello stato, infatti, il suo indice di rifrazione è solo di poco superiore a quello dell'acqua. E infatti è quasi trasparente.

La mucca effimera
Una mucca di burro a una fiera in Ohio (Usa). Finirà sciolta?

Che cos'è la camera di Ames?

Nel 1947, l'oftalmologo americano Adelbert Ames dimostrò come la nostra percezione dell'ambiente possa venire facilmente ingannata. A tale scopo ideò una camera i cui parametri architettonici sono deformati rispetto a quelli tradizionali. La stanza, se osservata con un occhio solo da un foro collocato in una certa posizione, appare perfettamente rettangolare; ma due persone della stessa altezza, situate nei due angoli in fondo, sembrano l'una molto più alta e l'altra molto più bassa del reale.

Sbilenca. In effetti, la stanza ha i due lati minori di lunghezza differente, e il soffitto è più basso dalla parte del lato più corto. L'illusione sopravviene perché, a causa della visione monoculare, si perde il senso della profondità. E il nostro sistema occhi-cervello, abituato a interpretare i segnali in base alle distanze (oltre che all'esperienza e alle influenze culturali), si confonde. L'effetto cade quando si ha una visione d'insieme.

Architettura ingannevole
Un "gigante" e due "nani" al museo La Villette di Parigi. Ma è una camera di Ames a produrre l'illusione ottica.

Perché si alita sulla punta degli aeroplanini di carta?

Un'opera con aerei di carta dell'artista cinese Wang Du.

Da bambini si alita sulla punta dell'aeroplanino perché... lo fanno tutti. In realtà ha un preciso motivo fisico: rende più stabile la traiettoria.

Per inumidirla, appesantendola e rendendo quindi più stabile la traiettoria dell'aeroplanino. Per quanto l'effetto sia comunque modesto, i maggiori vantaggi si hanno con i modelli a punta "leggera", per esempio quelli a freccia. A supporto di questa pratica c'è il fatto che nei vari modelli di aeroplanini la punta è quasi sempre fatta di più strati di carta ripiegati, proprio per aumentarne il peso e quindi la stabilità di volo.

Raffreddamento. È invece da scartare la spiegazione secondo cui il riscaldamento della carta farebbe diminuire la densità dell'aria circostante e dunque l'attrito con il velivolo: l'evaporazione dell'umidità (favorita dal moto stesso dell'aeroplanino) raffredda velocemente la carta della punta, vanificando il supposto effetto.

Una misura molto precisa

Archimede dimostrò già nel III secolo a. C. che il pi greco è compreso tra 3,1408 e 3,1428.

Che cos'è il π ("pi greco")?

È il numero che esprime il rapporto tra la lunghezza di una circonferenza e il suo diametro. Il suo valore, approssimato alle prime dieci cifre decimali, è: 3,1415926535...

Antichissimo. Si dice, tecnicamente, che il π appartiene ai numeri "trascendenti", perché di essi il grande matematico Eulero (1707-1783) disse «questi numeri trascendono il potere dei metodi algebrici», cioè non si possono ricavare tramite semplici equazioni algebriche. Il π è una delle costanti matematiche fondamentali (compare infatti in moltissime formule) ed è conosciuta da circa 4 mila anni.

Senza fine. Il calcolo sempre più preciso di π mette alla prova i matematici più abili, per definire il miglior procedimento per aumentare il numero delle cifre note, e i computer più potenti, per eseguire i calcoli.

Il team di Yasumasa Kanada (Università di Tokyo) con 400 ore di lavoro di un supercomputer, nel settembre 1999, è arrivato a definire 1.240 miliardi di cifre decimali.

E che cos'è la quadratura del cerchio?

Consiste nella costruzione di un quadrato avente la stessa area di un cerchio dato, in un numero finito di passi e servendosi soltanto di riga e compasso, cioè i classici strumenti della geometria di Euclide (vissuto intorno al 300 a. C.). È uno dei tre problemi della geometria classica greca, insieme a quelli - risolti - della duplicazione del cubo e della trisezione dell'angolo.

Solo col trucco. La possibilità di realizzare la quadratura del cerchio è legata alle proprietà del numero π ("pi greco"), che esprime il rapporto tra la lunghezza di una circonferenza e il suo diametro. Quando, nel 1882, il matematico tedesco Ferdinand von Lindemann dimostrò che π è un numero trascendente (v. risposta sopra) cadde una condizione necessaria per la quadratura, che quindi risulta impossibile. Si può tuttavia realizzare con strumenti matematici più complessi di quelli geometrici classici.

Che cos'è il "flashover"?

È il nemico più subdolo, spesso mortale, dei pompieri. Con questo termine inglese si indica l'autocombustione simultanea di tutti i materiali di una stanza, che si innesca durante un incendio quando i gas intrappolati nell'ambiente superano i 600 °C (v. disegno). Il flashover può essere annunciato da alcuni segnali premonitori, come calore particolarmente elevato e spesse lingue di fuoco lungo il soffitto. Ma non si può stabilire il momento esatto (in genere fra 3 e 30 minuti dall'inizio dell'incendio) in cui si verificherà, sprigionando una vampata a 1.000 °C che lascia solo un paio di secondi utili per mettersi in salvo.

Il flashover è favorito dall'effetto "camino" prodotto dai soffitti alti. Gli esiti, per i pompieri, possono essere ben più gravi di una faccia annerita.

PARTE SECONDA

C H I M I C A

È la disciplina che studia natura, proprietà e trasformazioni della materia. Con ogni probabilità la prima reazione chimica sfruttata dall'uomo fu la combustione di un pezzo di legno. Ma per diventare una scienza, nel senso che oggi diamo a questa parola, la chimica ha impiegato parecchi millenni. Fino ad arrivare al Settecento con i primi dati sperimentali di Antoine-Laurent Lavoisier, proseguire con la chimica organica di Berzelius e aprire quindi la strada alla preparazione di un'infinità di nuove sostanze, addirittura impensabili. Come, negli ultimi anni, le ceramiche superconduttrici o il supergel, capace di intrappolare il petrolio finito in mare dalle petroliere.

A COSA SERVE LA CHIMICA?

Che cos'è il pH? Che differenza c'è tra cibi e veleni? Com'è fatta l'acqua? Come si fa il sapone? E poi: come funziona la marmitta catalitica? E il supergel? A queste e a molte altre domande ci rispondono gli studi dei chimici.

QUANTI ELEMENTI CHIMICI ESISTONO?

Non c'è nulla di più semplice di un elemento chimico. Significa che non può essere scisso in altri elementi. E ognuno ha un numero caratteristico di protoni. Gli elementi sono 114, raccolti nella "tavola periodica". Ma forse ce ne sono altri: due aspettano una conferma, mentre di un altro, il 117, non c'è ancora traccia.

CHE COSA SONO GLI IDRATI DI METANO?

Sono miscugli di metano e acqua che si presentano sotto forma di cristallini bianchi. Ne sono stati identificati enormi giacimenti sui fondali oceanici di Stati Uniti, Canada, Centroamerica, Norvegia, Giappone e sotto l'Artide. Potrebbero rappresentare la fonte energetica del futuro.

A cosa serve la chimica?

Cos'è il pH? Che differenza c'è tra cibi e veleni? Com'è fatta l'acqua? Ci rispondono gli studi dei chimici.

Qualche centinaio di miliardi di miliardi di molecole: le state tenendo in mano o sono appoggiate sul vostro tavolo. Non le vedete una per una, perché sono microscopiche, ma messe insieme formano questo libro: molecole di cellulosa, d'inchiostro, di additivi. Se leggete, è perché molte altre molecole compongono i vostri occhi; altre ancora ricevono la luce emessa da caratteri e illustrazioni, subiscono una trasformazione chimica e innescano reazioni che lanciano un segnale al nervo ottico. Anch'esso fatto di molecole, come pure il vostro cervello, dove il segnale arriva ed è elaborato fino a produrre la rappresentazione psichica di queste pagine.

Il mondo? Sono solo 92 atomi

Un grande merito della chimica è stato quello di mostrare che tutto il mondo materiale, compreso il nostro organismo, è costituito a partire da un centinaio di elementi. ▶

I ganci e gli anelli del velcro visti al microscopio elettronico. Il nylon di cui sono fatti è una fibra sintetica.

I moderni alchimisti

I tedeschi P. Armbruster e S. Hoffmann fanno scontrare atomi naturali per crearne di nuovi (nella simulazione). Il loro sogno? L'atomo 114: il primo elemento artificiale non radioattivo, che cioè non decade col tempo.

SORBICO

L'acido che conserva i cibi? Sessant'anni fa non c'era

L'acido sorbico è un conservante alimentare molto diffuso, introdotto alla fine degli anni Quaranta. Ha sigla E 200 ed è permesso in dosi variabili da cibo a cibo, con un massimo di 2 grammi per chilo. Inibisce lo sviluppo di muffe, prevenendo le intossicazioni. **Impercettibile.** Si possono usare anche i suoi sali di sodio, potassio e calcio (E 201, E 202, E 203). L'acido sorbico non altera né sapore né odore né colore degli alimenti, e neppure il loro apporto calorico.

Una formula trasforma il salice in aspirina

Già nel 400 a. C. Ippocrate consigliava infusi di corteccia di salice per le doglie del parto, rimedio rimasto in voga come analgesico e dal 1758 anche come febbrifugo. Ottant'anni dopo, il calabrese Raffaele Piria isolò il principio attivo, l'acido salicilico, che però era irritante. **Cambio di gruppo.** Il problema fu risolto un secolo fa da Felix Hoffmann della Bayer con l'acetilazione. Per trattamento con anidride acetica, il gruppo -OH dell'acido salicilico si trasforma in gruppo acetilico $-COCH_3$, dando l'acido acetilsalicilico, registrato come Aspirin.

PARTE SECONDA

C H I M I C A

È la disciplina che studia natura, proprietà e trasformazioni della materia. Con ogni probabilità la prima reazione chimica sfruttata dall'uomo fu la combustione di un pezzo di legno. Ma per diventare una scienza, nel senso che oggi diamo a questa parola, la chimica ha impiegato parecchi millenni. Fino ad arrivare al Settecento con i primi dati sperimentali di Antoine-Laurent Lavoisier, proseguire con la chimica organica di Berzelius e aprire quindi la strada alla preparazione di un'infinità di nuove sostanze, addirittura impensabili. Come, negli ultimi anni, le ceramiche superconduttrici o il supergel, capace di intrappolare il petrolio finito in mare dalle petroliere.

A COSA SERVE LA CHIMICA?

Che cos'è il pH? Che differenza c'è tra cibi e veleni? Com'è fatta l'acqua? Come si fa il sapone? E poi: come funziona la marmitta catalitica? E il supergel? A queste e a molte altre domande ci rispondono gli studi dei chimici.

QUANTI ELEMENTI CHIMICI ESISTONO?

Non c'è nulla di più semplice di un elemento chimico. Significa che non può essere scisso in altri elementi. E ognuno ha un numero caratteristico di protoni. Gli elementi sono 114, raccolti nella "tavola periodica". Ma forse ce ne sono altri: due aspettano una conferma, mentre di un altro, il 117, non c'è ancora traccia.

CHE COSA SONO GLI IDRATI DI METANO?

Sono miscugli di metano e acqua che si presentano sotto forma di cristallini bianchi. Ne sono stati identificati enormi giacimenti sui fondali oceanici di Stati Uniti, Canada, Centroamerica, Norvegia, Giappone e sotto l'Artide. Potrebbero rappresentare la fonte energetica del futuro.

A cosa serve la chimica?

Cos'è il pH? Che differenza c'è tra cibi e veleni? Com'è fatta l'acqua? Ci rispondono gli studi dei chimici.

Qualche centinaio di miliardi di miliardi di molecole: le state tenendo in mano o sono appoggiate sul vostro tavolo. Non le vedete una per una, perché sono microscopiche, ma messe insieme formano questo libro: molecole di cellulosa, d'inchiostro, di additivi. Se leggete, è perché molte altre molecole compongono i vostri occhi; altre ancora ricevono la luce emessa da caratteri e illustrazioni, subiscono una trasformazione chimica e innescano reazioni che lanciano un segnale al nervo ottico. Anch'esso fatto di molecole, come pure il vostro cervello, dove il segnale arriva ed è elaborato fino a produrre la rappresentazione psichica di queste pagine.

Il mondo? Sono solo 92 atomi

Un grande merito della chimica è stato quello di mostrare che tutto il mondo materiale, compreso il nostro organismo, è costituito a partire da un centinaio di elementi. ▶

I ganci e gli anelli del velcro visti al microscopio elettronico. Il nylon di cui sono fatti è una fibra sintetica.

I moderni alchimisti

I tedeschi P. Armbruster e S. Hoffmann fanno scontrare atomi naturali per crearne di nuovi (nella simulazione). Il loro sogno? L'atomo 114: il primo elemento artificiale non radioattivo, che cioè non decade col tempo.

SORBICO

L'acido che conserva i cibi? Sessant'anni fa non c'era

L'acido sorbico è un conservante alimentare molto diffuso, introdotto alla fine degli anni Quaranta. Ha sigla E 200 ed è permesso in dosi variabili da cibo a cibo, con un massimo di 2 grammi per chilo. Inibisce lo sviluppo di muffe, prevenendo le intossicazioni. **Impercettibile.** Si possono usare anche i suoi sali di sodio, potassio e calcio (E 201, E 202, E 203). L'acido sorbico non altera né sapore né odore né colore degli alimenti, e neppure il loro apporto calorico.

Una formula trasforma il salice in aspirina

Già nel 400 a. C. Ippocrate consigliava infusi di corteccia di salice per le doglie del parto, rimedio rimasto in voga come analgesico e dal 1758 anche come febbrifugo. Ottant'anni dopo, il calabrese Raffaele Piria isolò il principio attivo, l'acido salicilico, che però era irritante. **Cambio di gruppo.** Il problema fu risolto un secolo fa da Felix Hoffmann della Bayer con l'acetilazione. Per trattamento con anidride acetica, il gruppo -OH dell'acido salicilico si trasforma in gruppo acetilico $-COCH_3$, dando l'acido acetilsalicilico, registrato come Aspirin.

La tavolozza dell'universo: l'ordine è nei protoni

La tavola periodica ordina gli elementi in base ai protoni contenuti nel nucleo di un loro atomo (numero atomico). Gli elementi di ciascuna colonna verticale hanno proprietà chimiche simili, mentre i colori identificano "gruppi" di elementi (come i metalli alcalini, in arancione). L'idrogeno, H, ha un solo protone ed è il più leggero. L'elemento naturale che ne ha di più (92) è l'uranio. Quelli con ancora più protoni sono artificiali.

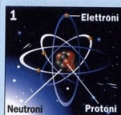
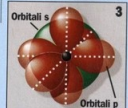
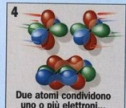
La tavola periodica degli elementi: uno dei suoi padri fu il russo Mendeleev.

L'odorino che vi stuzzica l'appetito è l'effetto di molecole che escono dalle pentole, si diffondono e si fissano sui recettori del naso. La farfalla maschio del baco da seta (*Bombyx mori*) trova la femmina, anche se molto distante, seguendo la traccia di molecole del feromone che quella dissemina nell'aria.

Con tutta probabilità la prima reazione chimica sfruttata dall'uomo fu la combustione di un pezzo di legno. Le fiamme altro non sono che luce e calore emessi dai gas surriscaldati che si generano mentre il materiale combustibile reagisce con l'ossigeno dell'aria, producendo anidride carbonica e vapore acqueo.

Dall'ossigeno al patibolo

Per diventare una scienza, nel senso che oggi diamo a questa parola, la chimica ha tuttavia impiegato diversi millenni da quel primo tizzone. Fino ad arrivare all'ultima parte del Settecento e al grande innovatore Antoine-Laurent Lavoisier. Prima di lasciare la testa sotto la ghigliottina rivoluzionaria, ancorò le teorie chimiche ai dati sperimentali, riconoscendo per esempio il ruolo dell'ossigeno nelle combustioni. La chimica si confermava la scienza che studia natura, proprietà e trasformazioni della materia.

Per gettare le basi dell'interpretazione strutturale della materia e comprenderne il comportamento mancava tuttavia la teoria atomico-molecolare. Essa si sviluppò poco dopo grazie al piemontese Amedeo Avogadro. Nel 1811 egli ipotizzò che, fissate temperatura e pressione, in un certo volume di qualunque gas fosse contenuto lo stesso numero di molecole. Trascorse però un altro mezzo secolo prima che il siciliano Stanislao Cannizzaro riuscisse a far accettare questa ipotesi, che permise di determinare sperimentalmente i pesi molecolari, e così di risalire alle formule chimiche corrette. La più piccola porzione di un elemento è infatti l'atomo: un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni. Atomi con un diverso numero di protoni appartengono a elementi diversi e hanno proprietà chimiche e fisiche differenti. Viviamo respirando ossigeno, ma moriremmo subito respirando fluoro, anche se ha soltanto un protone in più dell'ossigeno.

I protoni e gli elettroni hanno carica elettrica opposta, ma essendo in numero uguale si neutralizzano: l'atomo è neutro. La struttura dell'atomo è assimilabile a quella di ▶

Chimica per conquistare
Una falena si posa vicino a cotone trattato con feromoni, secrezione chimica degli animali per attrarre individui dell'altro sesso.

Cenere di alghe e olio di oliva: arriva il sapone

Il sapone forse era già noto ai Sumeri nel quarto millennio a. C. La produzione si sviluppò nel IX secolo d. C. sulle coste mediterranee, in particolare a Marsiglia (di qui l'espressione "sapone Marsiglia" per indicare il sapone da bucato). **Naturale.** Le materie prime erano la cenere delle alghe e l'olio d'oliva. Quanto alla sua produzione, una soluzione basica (ottenuta dalla cenere) scindeva a caldo i trigliceridi dell'olio, dando glicerina e oleato di sodio, costituente principale del sapone.

Tra cane e topo: 100 km

Due atomi condividono uno o più elettroni...

... come due passanti condividono l'ombrello

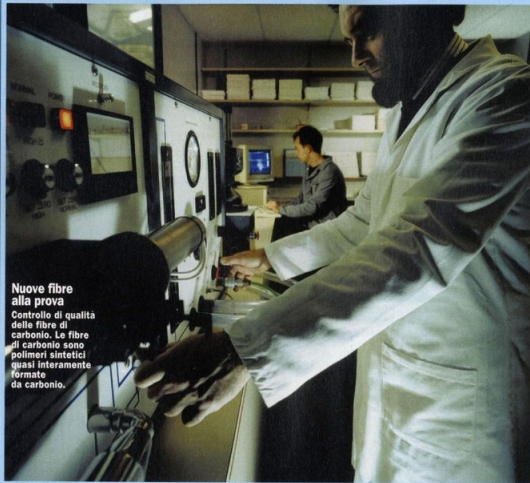
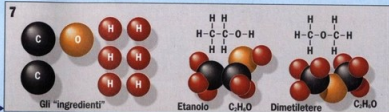
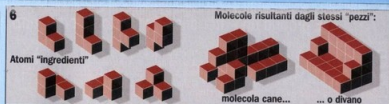
►un microscopico sistema solare (nel disegno 1, un atomo di berillio). Ma un sistema solare pressoché vuoto: se il nucleo fosse ingrandito fino a raggiungere le dimensioni di un cane il più vicino elettrone si troverebbe a 100 km e avrebbe le dimensioni di un topolino (disegno 2). Se il nucleo fosse grande come il Sole, l'elettrone si troverebbe oltre Plutone, il più lontano dei pianeti. Ma l'analogia è solo in parte corretta. In realtà la posizione dell'elettrone non è conoscibile: si trova in una sorta di nube che circonda il nucleo. Essa è suddivisa in varie zone, dette comunemente orbitali, che non hanno sempre la stessa forma: per esempio gli orbitali "s" sono sferici, e quelli "p" assomigliano a due gocce d'acqua unite tra loro (nel disegno 3 gli orbitali del neon).

Gli atomi sono piccolissimi: il raggio di un atomo di carbonio è di soli 0,00000015 mm; una riga a matita lunga 2 cm, larga un decimo di mm e spessa un centesimo, ne contiene 6 miliardi di miliardi in forma di molecole di grafite.

Non caso, ma combinazione

Nonostante la piccolezza degli atomi, i moderni microscopi elettronici "a effetto tunnel" possono renderli visibili. Altre tecniche permettono di riconoscerne indirettamente la presenza (cromatografia e spettroscopia) e dedurne la disposizione spaziale (cristallografia). In altre parole, gli atomi sono molto piccoli ma reali. Quando solleviamo una mela reggiamo il peso di una galassia di atomi. Quando udiamo il mormorio dell'acqua percepiamo le onde d'urto di una miriade di molecole. Quando ci vestiamo ci stendiamo addosso una trama di puntini pressoché infinitesimali, tenuti insieme dalla coalizione di minuscole forze.

La maggior parte dei corpi è costituita da molecole, cioè combinazioni di atomi dello stesso tipo o di tipo diverso legati tra loro.

Così l'acqua è una combinazione di idrogeno e ossigeno, e l'aspirina di carbonio, idrogeno e ossigeno. Esistono milioni di tipi diversi di molecole: alcune servono per scaldarci, come quelle di metano. Altre caratterizzano un gusto, un odore, un colore, o ►

Nuove fibre alla prova

Controllo di qualità delle fibre di carbonio. Le fibre di carbonio sono polimeri sintetici quasi interamente formate da carbonio.

6

Atomi "ingredienti"

Molecole risultanti dagli stessi "pezzi":

molecola cane...

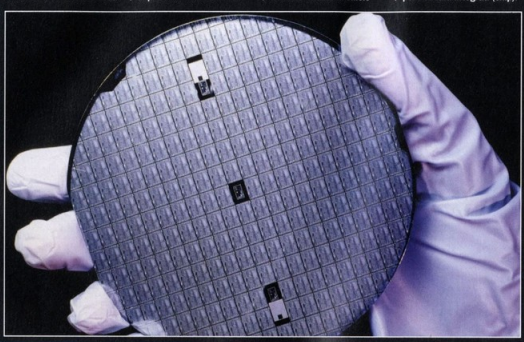
... o divano

Quanto a pH, l'uomo sta tra la soda caustica e l'acido cloridrico

Perché è così importante il pH del sapone? E che cosa significa pH neutro? Il pH è un indice legato alla concentrazione di ioni idrogeno (H^+, i protoni liberi) in una soluzione. Si misura su una scala che va da 0 a 14: più basso è il pH più l'ambiente è acido.

Dal mare allo stomaco. Così l'acqua di mare ha pH 8,5; il latte 6,5; l'aceto 2,9 e il succo gastrico 2. Quando una sostanza ha pH 7, come l'acqua pura, si dice che è neutra. La nostra pelle ha un pH di poco inferiore a 7 (4,5 - 6,5). Possono danneggiarla sia le sostanze che in acqua generano un pH molto basso (cioè acide) sia quelle con un pH alto (dette basiche, per esempio la soda caustica). Acidi come quello cloridrico e basi come l'ammoniaca vengono prodotti industrialmente.

È proprio un wafer di silicio. Fatto al forno, anzi al fornetto

Bastano concentrazioni minime di elementi estranei per alterare le proprietà elettriche del silicio. Per ottenerlo si riscalda a circa 3000 °C la silice della sabbia insieme con carbone. Il silicio così ottenuto viene trasformato dal cloro nel tetracloruro, liquido che si purifica per distillazione. Poi, dopo un trattamento con magnesio, zinco o idrogeno si passa al "raffinamento a zone". Intorno alla barra di silicio scorre un fornetto, che la fonde: si forma così un disco sottile di silicio fuso, che segue il fornetto e trascina con sé le impurezze. Infine la barra "iperpura" è affettata in strati sottili, i wafer (sotto), che serviranno per i circuiti integrati (chip).

fungono da "mattoni" per costruire molecole più complesse, come gli amminoacidi per le proteine. Altre ancora, come la cellulosa, ci consentono di vivere su un pianeta coperto di piante.

Ciascun tipo di atomo porta una qualità particolare alla sostanza di cui fa parte. La sostituzione di un solo atomo può trasformare un combustibile in un veleno o rendere commestibile una sostanza immangiabile.

Solo nei primi decenni del secolo scorso si è capito che un certo tipo di legame fra due atomi è dovuto alla condivisione di una coppia di elettroni più esterni, che formando un'unica nube agiscono da "colla" (disegno 4). È un po' come se una persona si offrisse di dividere l'ombrello con un'altra (disegno 5). Il numero di legami che un atomo può formare dipende dal numero di elettroni (di "ombrelli") che può condividere.

Quali e quanti atomi facciano parte di una molecola è scritto nella sua formula. L'alcol etilico, quello delle bevande alcoliche, ha per esempio 2 atomi di carbonio, 6 di idrogeno e 1 di ossigeno; la sua formula bruta è dunque C_2H_6O, dove gli elementi sono indicati con i rispettivi simboli. Con gli stessi pezzi si possono infatti costruire oggetti diversi (isomeri, disegno 6). Per sapere come si legano gli atomi c'è bisogno della formula di struttura, che permette anche di distinguere tra molecole che pur avendo gli stessi "ingredienti" hanno differenti proprietà (come l'etanolo e il dimetiletere del disegno 7).

Nella formula di struttura i legami tra atomi sono indicati con trattini tra i relativi simboli chimici (tanti trattini quante sono le coppie di elettroni condivise).

Alcune molecole sono però così complesse che si omette di indicare il carbonio e gli atomi d'idrogeno a esso collegati, ottenendone la formula a trattini (come per il 2-furilmetantiolo del disegno 8).

8

SH

O

C_5H_6OS

9

Quasi facendo uno scippo...

10

Cl

Na

... un atomo può legarsi a un altro rubandogli un elettrone

Dal carbone ai quanti, alla genetica, due secoli di chimica. In pillole

La prima a essere studiata fu la chimica inorganica, che offriva le sostanze più semplici. Nel corso dei millenni ha dato all'uomo i metalli (estratti dai minerali dove si trovavano come composti), i vetri, le ceramiche, il primo esplosivo (la polvere pirica), importanti medicinali. Miracoloso si rivelò nel 1831, durante una terribile epidemia di colera, un nuovo disinfettante, il cloro, introdotto dal tedesco Friedlieb Runge. Un altro tedesco, Johann Döbereiner, ai primi dell'Ottocento inventò l'accendisigari: funzionava a idrogeno, che s'infiammava spontaneamente all'aria grazie a un catalizzatore di platino.

Trappole anticalcare. La chimica inorganica ora può contribuire a spiegare la rarefazione dell'ozono stratosferico e a sviluppare marmitte catalitiche sempre più efficienti e catalizzatori a base di metalli di transizione, che permettono di ottenere sostanze che ci servono senza prodotti intermedi pericolosi (acido cianidrico, formaldeide, ossido di etilene). Una classe di prodotti inorganici largamente in uso è quella delle zeoliti sintetiche, silicati che nel reticolo cristallino hanno cavità di forma caratteristica. Introdotti nei detersivi al posto dei polifosfati, "sequestrano" gli ioni calcio delle acque "dure", che altrimenti disattivano parte del detergente e formano incrostazioni.

Ai confini con la fisica. Fra i nuovi materiali inorganici, da ricordare leghe ferrose speciali, con particolari proprietà di magnetismo, durezza e resistenza alla corrosione, utili per i nuclei magnetici dei trasformatori elettrici. Piuttosto antiche sono anche le origini della chimica fisica, nata con lo studio delle proprietà fisiche delle sostanze. Vi confluirono nel XIX secolo le applicazioni chimiche d'una scienza abbastanza giovane, la termodinamica, che collegava i fenomeni naturali a trasferimenti d'energia. Essa ci dice se una reazione può avvenire nel senso che immaginiamo o in quello inverso; ma ci aiuta anche a determinare l'energia ricavabile da una certa quantità di carburante. Una branca della chimica fisica è l'elettrochimica, da cui derivano le pile e l'elettròlisi (per produrre metalli e rivestimenti galvanici).

Organica ma non viva. Abbastanza difficile è definire la chimica organica. Fu lo svedese Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) a introdurre l'espressione, riferendosi ai composti prodotti appunto da organismi viventi. Nel 1828, tuttavia, il tedesco Friedrich Wöhler sintetizzò in laboratorio un composto organico, l'urea, partendo da sostanze inorganiche: cadde così la teoria della necessità d'una "vis vitalis" (forza vitale) e si aprì la strada alla preparazione di infinite sostanze. In pratica si definiscono organici i composti del carbonio a eccezione di ossidi (il monossido, noto gas velenoso, e l'anidride carbonica), carbonati, carburi, acido cianidrico e cianuri (altri veleni famosi).

Filoindustriale. Moltissime le produzioni organiche industriali. L'industria chimica nacque in Inghilterra verso la metà del XIX secolo, quando William Perkin produsse il primo colorante sintetico dal catrame di carbon fossile, un ingombrante residuo della preparazione di gas illuminante. L'alta moda, fiorita alla corte dell'imperatrice francese Eugenia e sbarcata al di là della Manica grazie alla regina Vittoria, apprezzava i bei colori e ne decretò il successo. L'idea di Perkin fece capire che era possibile sfruttare la chimica organica a fini industriali, e la strada proseguì con prodotti ▶

Marmitta catalitica.

J.J. Berzelius.

È stato uno scippo ionico

Anziché limitarsi a condividere gli elettroni di altri atomi, in certi casi alcuni elementi "egoisti" li strappano via: un vero e proprio scippo (disegno 9). In questo modo si formano ioni, cioè atomi che hanno perso o acquistato uno o più elettroni e quindi possiedono una carica elettrica (indicata in alto a fianco del simbolo). Può così accadere che scippato e scippatore risentano di una reciproca attrazione elettrostatica, e formino un "legame ionico". Un classico esempio è quello del sale da cucina, o cloruro di sodio (disegno 10), in cui lo ione positivo del sodio (Na^+) è legato a quello negativo del cloro (Cl^-).

C'è anche un'attrazione tra molecole che va citata per la sua importanza. Il legame a idrogeno (indicato nelle formule con una linea punteggiata), che si può paragonare a uno scippo non riuscito: l'atomo con cui l'idrogeno ha in comune gli elettroni cerca di attrarli a sé, ma senza riuscire a impossessarsene del tutto.

L'idrogeno si ritrova debolmente positivo e non può far altro che attirare atomi ap- ▶

▶farmaceutici, carburanti, materie plastiche, fibre tessili sintetiche. Settori il cui sviluppo è tutt'altro che concluso; il rispetto dell'ambiente li spinge a evolversi verso prodotti e processi non inquinanti. Altri orizzonti? Per esempio giubbotti antiproiettile fatti di fibre organiche con una resistenza superiore a quella dell'acciaio.

La più servizievole. Al servizio di tutti questi campi c'è la chimica analitica, che fornisce informazioni precise sulla natura di certe sostanze o sulla composizione di campioni molto vari. I 12 gradi dichiarati sull'etichetta del Chianti, o le 10 parti di monossido di carbonio per milione riscontrate nell'aria cittadina, sono frutto di analisi chimiche: la prima fatta col vecchio ebulliometro o con un moderno gascromatografo, la seconda con un gascromatografo o con uno spettrofotometro infrarosso.

La chimica della vita. La biochimica prese il volo nel XIX secolo grazie al calabrese Raffaele Piria e ai suoi allievi all'Università di Pisa. Vennero poi scoperti gli enzimi, catalizzatori biologici che fanno avvenire in frazioni di secondo reazioni altrimenti impossibili, da cui dipende la vita stessa. Un'altra pietra miliare fu la determinazione della struttura del Dna. Fra i grandi obiettivi dei biochimici oggi ci sono la definizione estesa del codice genetico, la ricerca delle origini e delle cure di malattie, la creazione di organismi vegetali e animali dotati di caratteri utili all'uomo (bioingegneria).

Una fabbrica di elementi. Dalle altre reazioni chimiche, che trasformano le sostanze combinando gli elementi, si distinguono nettamente quelle nucleari, che mutano gli elementi stessi. Sviluppatasi dai primi lavori sulla radioattività e poi da quelli sulla fissione e sulla fusione, la chimica nucleare produce isotopi radioattivi (radioisotopi) degli elementi naturali (molto usati come traccianti nella ricerca e come radiodiagnostici o radioterapeutici in medicina) e arriva fino alla sintesi di elementi che in natura non esistono. Un esempio: l'elemento 101. Gli americani che lo prepararono vollero chiamarlo mendelevio (Md) per onorare il russo Dmitrij Mendeleev, uno dei padri della tavola periodica. Questi aveva previsto esistenza e caratteristiche di elementi ancora ignoti basandosi sulla periodicità delle proprietà chimiche. I ricercatori Usa disponevano di pochi atomi della loro "creatura" ma furono facilitati dalla previsione che il nuovo elemento somigliasse chimicamente al tulio (Tm), che nella tavola periodica occupa la casella sopra la sua.

L'ultima nata. La chimica quantistica, infine, nacque nel 1911 col danese Niels Bohr, che applicò la meccanica dei quanti al suo modello di atomo. In seguito l'austriaco Erwin Schrödinger tenne conto del fatto che gli elettroni si comportano non solo come particelle, ma anche come onde. Ne derivarono complicate equazioni che offrono una descrizione degli atomi che rispecchia con buona approssimazione le proprietà misurate sperimentalmente. Il premio Nobel per la chimica 1998 è andato proprio a due studiosi che si sono dedicati a questo settore: Walter Kohn (Usa) e John Pople (Gb). I calcoli tradizionali delle proprietà di una molecola partono dall'esame del moto di tutti gli elettroni presenti. Il problema è dunque complesso. Kohn ha però dimostrato che basta conoscere il numero medio di elettroni che passano nei vari punti dello spazio, e Pople ha creato un software che, inseriti i dati di una molecola o di una reazione chimica che non si è in grado di studiare in laboratorio, prevede le proprietà molecolari o il meccanismo di reazione. Come dire: il computer a braccetto con ampolle e provette.

Industria plastica

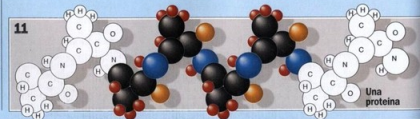
Il buco visto al computer
Le molecole di freon prodotte dall'uomo (sopra) si degradano liberando atomi di cloro, che distruggono l'ozono (sotto).

▶partenenti ad altre molecole se hanno una sia pur debole carica negativa. Così si forma quel legame intermolecolare che dà solidità al legno e impedisce all'acqua di evaporare già a -80 °C. E che consente la vita.

La materia si trasforma di continuo tramite reazioni chimiche. È un succedersi di legami che si rompono e nuovi legami che si formano: atomi si uniscono per dare molecole; molecole si scindono per dare altre molecole e atomi.

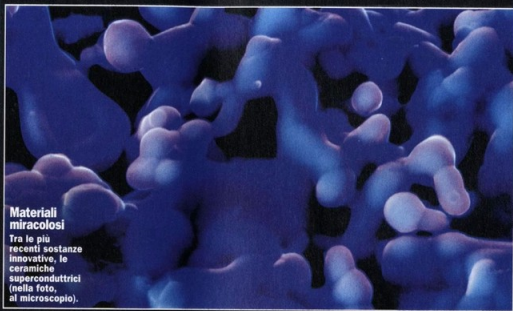
Nascono anche molecole grandi, come la stearina, un grasso composto da 57 atomi di carbonio, 6 atomi di ossigeno e 110 atomi di idrogeno, o addirittura gigantesche come le proteine, con migliaia di atomi (disegno 11). Le proteine sono anche le unità fondamentali degli esseri viventi, cioè della più complessa miscela di composti sulla Terra.

La chimica non si limita a studiare ciò che esiste in natura; cerca di creare sostanze nuove che abbiano proprietà utili all'uomo. Per esempio l'ortofosfato di gallio, che non si trova in natura, ha qualità migliori del quarzo; per cui potrebbe presto sostituirlo nei sensori di pressione e nelle microbilance.

11 Una proteina

Tutto partì dalla pietra filosofale per trasformare il piombo in oro

La trasmutazione del piombo in oro, la pietra filosofale, gli elisir... A questo fa pensare la parola alchimia, che in realtà è mamma della chimica, poco seria forse, ma indispensabile alla sua creatura. Nacque nel 200 a. C. come "khemeia", dal matrimonio tra la praticaccia mistica degli imbalsamatori egizi e la scienza teorica dei filosofi greci, i quali già ipotizzavano l'esistenza degli atomi. Nel corso dei secoli rimbalzò dai Romani agli Arabi ai crociati europei, sempre ondeggiando tra sperimentazione e magia.

Dall'oro alle purghe. Per creare l'oro gli alchimisti speravano nella pietra filosofale, che, miracolosa com'era, avrebbe senz'altro guarito anche ogni malattia. Così si passò dall'alchimia alla farmacia, e da questa alla chimica, insegnata per la prima volta in Germania all'Università di Marburgo nel 1609.

Materiali miracolosi
Tra le più recenti sostanze innovative, le ceramiche superconduttrici (nella foto, al microscopio).

Un gruppo di ricercatori olandesi costruisce addirittura "atomi" artificiali intrappolando con campi elettrici gli elettroni in un sottilissimo strato di materiale semiconduttore.

Il futuro? Sarà pieno di sorprese

Questi "atomi", molto più grossi di quelli naturali, se combinati in molecole (si sta cercando di farlo), potrebbero dar vita a materiali impensabili. Purtroppo il procedimento funziona solo a -272 °C. Negli ultimi due secoli la chimica ha compiuto passi da gigante, dividendosi in parecchi settori, sempre più specializzati. E il futuro sembra riservare sorprese. Kazunari Domen, rispettato chimico giapponese, sostiene di essere riuscito a scindere l'acqua a temperatura ambiente in ossigeno e idrogeno semplicemente versandovi ossido rameoso in polvere e agitando: reazione che altrimenti avviene a 3.000 °C. Se fosse vero sarebbe l'inizio di una nuova branca della chimica. Ma la prudenza è d'obbligo. ❑

N. Crowther e D. Eagland con il "supergel": può assorbire il petrolio perso dalle petroliere.

Quanti elementi chimici esistono?

A colpo d'occhio

Tavola periodica "a parete", del Lawrence science hall (Università di Berkeley, Usa). La foto è del 1991: gli ultimi elementi non avevano ancora un nome.

Non c'è nulla di più semplice di un elemento chimico. Ciò significa che non può essere scisso in altri elementi. E ognuno ha un numero di protoni caratteristico.

Nella tavola periodica sono raccolti attualmente 114 elementi, ordinati per "numero atomico", cioè in base al numero di protoni contenuti nel loro atomo. Gli elementi con numero atomico minore di 84 sono stabili, a eccezione di tecnezio (che ha numero atomico 43) e promezio (61).

Radioattivi. Quelli successivi, invece, sono radioattivi: tendono a disintegrarsi per trasformarsi in elementi più leggeri, perché nei loro nuclei le forze di repulsione tra i protoni (che hanno tutti carica elettrica positiva e quindi si respingono) prevalgono sulle forze attrattive nucleari.

Lotto atomico. Sul nostro pianeta, però, esistono soltanto 90 elementi "naturali": tutti quelli fino all'uranio (numero atomico 92), tranne i già citati tecnezio (che però è stato osservato in alcune stelle) e promezio. Gli altri sono stati creati artificialmente nei laboratori, e i più pesanti esistono per un tempo brevissimo: anche meno di un centesimo di secondo.

Manca il 117. Finora sono stati osservati tutti gli elementi fino al 112, e il 114 e il 116. Il 113 e il 115 sono in attesa di conferma, mentre del 117 non c'è ancora traccia.

Nel 1999, un gruppo dell'Università di Berkeley (Stati Uniti) annunciò la scoperta dell'elemento 118, ma poi smentì la notizia nel 2001. ❑

Che cosa sono gli idrati di metano?

Sono miscugli di metano e acqua che si presentano sotto forma di materiali cristallini bianchi simili a neve o a ghiaccio poroso, in cui le molecole di metano sono "intrappolate" in un reticolo di molecole d'acqua. A partire dagli anni Settanta, ne sono stati identificati enormi giacimenti sui fondali oceanici di Usa, Canada, Centroamerica, Norvegia, Giappone e sotto l'Artide.

Gli idrati di metano potrebbero rappresentare la fonte energetica del futuro: se tutti i giacimenti stimati si potessero convertire in gas, se ne ricaverebbe una quantità tale da soddisfare il fabbisogno energetico del mondo per 7 mila anni. Questi composti sono stabili ad alte pressioni (50 volte quella atmosferica) e basse temperature (meno di 5 °C). Gli sforzi attuali degli scienziati sono quindi rivolti a studiare il metodo migliore per separare il metano dall' acqua, abbassando la pressione o innalzando la temperatura del composto.

Purtroppo però ci sono anche i lati negativi: le colonne di metano che si liberano dagli idrati sepolti negli oceani sono potenzialmente pericolose per navi e aerei. E incrementano l'effetto serra. ❑

Ghiaccio che brucia
Nel disegno, pregi e pericoli dei giacimenti di idrati di metano, che qualcuno ritiene anche causa delle presunte sparizioni di navi e aerei nel "Triangolo delle Bermuda".

Perché il sapone fa la schiuma?

Le bolle di sapone sono sferiche perché è la forma più "economica".

Molecole con una "coda" che si lega alle molecole dell'acqua e un'altra che invece tende a respingerle. Sono queste ultime a provocare le caratteristiche bolle. Il sapone pulisce, invece, perché le sostanze di cui è fatto consentono all'acqua di "staccare" lo sporco dal supporto.

Nel sapone sono presenti lunghe molecole che hanno un'estremità idrofila (cioè attratta dall'acqua), composta di ioni di sodio, e l'altra idrofoba (che invece respinge l'acqua). Quando si aggiunge il sapone all'acqua, la parte idrofoba delle molecole tende ad allontanarsene e a formare una pellicola di molecole con la "coda" per aria.

Pellicola. Agitando l'acqua, la pellicola si rompe e si ricompone in bolle le cui pareti saponose racchiudono al loro interno un sottile velo d'acqua. La forma sferica delle bolle, in particolare, è dovuta a ragioni di "economia": la sfera infatti è la forma geometrica che racchiude, a parità di superficie, il maggior volume.

E i marinai? Formare bolle con l'acqua di mare usando il sapone è più difficile, perché l'acqua salmastra, così come quella ricca di sali ("dura"), abbonda di ioni di sodio, che ostacolano l'ingresso nell'acqua dell'estremità idrofila delle molecole di sapone; anche lavare con queste acque diventa quindi più difficile. ❑

Perché le bombe nucleari formano una nube a fungo?

La tipica forma a fungo non è dovuta al fatto che la reazione è nucleare, ma solo alla violenza dell'esplosione: una forte deflagrazione di origine chimica produce lo stesso effetto.

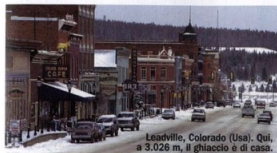
Sfera rovente. Un'esplosione genera una sfera di gas molto caldo, che sale vorticosamente trascinando con sé il fumo e generando il gambo del fungo. A mano a mano che sale, il gas si raffredda e comincia a espandersi in direzione orizzontale, per poi ridiscendere a partire dai bordi.

Gigantesca colonna. La forma a fungo è ancora più pronunciata nel caso delle bombe H (a idrogeno), che sono molto esplosive: la colonna di fumo raggiunge la tropopausa, una zona dell'atmosfera posta a circa 17 chilometri di altezza, dove la temperatura diminuisce molto bruscamente, bloccando nettamente l'ascesa del fumo.

C'è differenza tra l'uso di sale o sabbia per impedire la formazione di ghiaccio?

Il sale da cucina (cloruro di sodio) ha un elevato potere igroscòpico, ovvero tende a fissare intorno ai suoi cristalli le molecole di vapore acqueo presenti nell'aria. In questo modo, l'aria diventa più secca e la formazione di ghiaccio risulta più difficile.

Antigelo. Il cloruro di sodio abbassa inoltre il punto di congelamento dell'acqua, che anziché solidificarsi a 0 °C, gela a temperature inferiori. Un litro d'acqua nel quale siano stati disciolti 120 g di sale, per esempio, congela a circa -4 °C.

Copertina. La sabbia, invece, cosparsa sul manto stradale, forma una specie di coperta che impedisce all'asfalto di disperdere troppo rapidamente il proprio calore, rallentando la formazione di ghiaccio. Inoltre, la sabbia aumenta la presa dei pneumatici sulla strada, resa viscida dalla neve o dal gelo.

Leadville, Colorado (Usa). Qui, a 3.026 m, il ghiaccio è di casa.

Perché alcune sostanze sono appiccicose?

Tutta colpa delle forze molecolari...

Per via delle forze molecolari che agiscono quando tali sostanze sono a contatto con altri oggetti. Le molecole, infatti, sono costituite da atomi. E anche se gli atomi, in generale, sono elettricamente neutri (contengono cioè un uguale numero di protoni ed elettroni, che hanno carica elettrica opposta), quando atomi diversi entrano in contatto gli elettroni possono generare forze elettriche responsabili sia dei legami chimici all'interno delle molecole, sia delle forze che agiscono tra molecola e molecola.

Adesivi. Nelle sostanze adesive, naturali (come il collagene) o sintetiche (come l'Attak), forze molecolari particolarmente intense tengono strettamente unite tra loro le molecole. Un buon adesivo, inoltre, deve avere un certo grado di fluidità, che lo fa aderire meglio alle superfici da unire, rendendolo più efficace.

Esperimenti con la bomba atomica nell'atollo di Bikini.

PARTE TERZA

U N I V E R S O

Alla domanda "Che cosa faceva Dio prima della creazione?" Sant'Agostino rispondeva: "Non faceva niente, perché non esisteva un prima quando non esisteva un tempo". Allo stesso modo i moderni cosmologi hanno in un primo momento sostenuto che il tempo fosse nato insieme all'universo, cioè con il Big Bang. Oggi però, sulla base di più accurati modelli teorici, molti scienziati pensano che ci fosse qualcosa ancora prima: una sorta di preistoria o, meglio, una sorta di universo-genitore che generò il nostro. E, magari, anche altri mondi "paralleli" al nostro.

COME È NATO L'UNIVERSO?

Il Big Bang, l'esplosione più energica della storia avvenuta circa 13-14 miliardi di anni fa, ha davvero creato il cosmo? Oppure prima c'era già qualcosa? E se sì, che cosa?

CHE COSA SONO LE GALASSIE?

Agglomerati di centinaia di miliardi di stelle, ruotano, precipitano, si avvicinano e si allontanano. Le galassie sono i mattoni fondamentali dell'universo. In tutto, sono circa cento miliardi.

CHE COS'È LA MATERIA OSCURA?

Tiene insieme gli ammassi di galassie, accelera il moto delle stelle, modifica lo spazio-tempo. Esiste, anche se nessuno riesce a dire con certezza dove si trova e di che cosa è composta.

QUANTE SONO LE STELLE? E QUANTI GENERI CE NE SONO?

Sono circa 200 mila miliardi di miliardi. Quelle visibili a occhio nudo dalla Terra sono 5.780. Gli scienziati le hanno classificate per colore, dimensioni, temperatura, luminosità apparente.

COM'È FATTO IL SOLE?

È una stella di media grandezza, uguale ad altre delle centinaia di miliardi che popolano la Via Lattea, con un diametro 109 volte quello della Terra e una massa 330 mila volte più grande.

Uno squarcio nell'oscurità
Le primissime fasi di storia dell'universo sono avvolte nel buio. Ma qualche cosa di più si sta cominciando a comprendere grazie alle moderne teorie della fisica.

Come è nato l'universo?

Il Big Bang, l'esplosione più energetica della storia, ha davvero creato il cosmo? Oppure c'era già qualcosa? E se sì, che cosa?

Osservando, di notte, il cielo stellato, l'universo sembra infinito ed eterno. Anche Isaac Newton e Albert Einstein, del resto, erano convinti che fosse così. Eppure, già ai tempi di Galileo Galilei, un dubbio serpeggiava tra gli scienziati: se le stelle fossero uniformemente distribuite e se l'universo fosse infinito ed eterno, allora la volta celeste dovrebbe apparire completamente illuminata anche di notte. Questo paradosso, passato alla storia come "paradosso di Olbers" (dall'astronomo che lo rese noto nel 1826), era molto più profondo di quanto sembrasse. La soluzione, infatti, consiste principalmente nel fatto che l'universo non è eterno, ma è nato in seguito a un'immensa esplosione, il Big Bang, avvenuta circa 13-14 miliardi di anni fa. E, quindi, sono visibili solo quelle stelle che distano meno della distanza che la luce ha potuto percorrere dall'istante iniziale a oggi.

Tutto ciò fu chiaro, però, solo dopo che l'americano Edwin Hubble, nel 1929, osservò che l'universo è in espansione: gli ammassi di galassie si allontanano infatti l'uno dall'altro con una velocità che è proporzionale alla loro distanza reciproca.

Tre buone ragioni

Che il Big Bang sia veramente avvenuto lo garantiscono, oltre all'allontanamento attuale degli ammassi di galassie, anche altre due prove schiaccianti. La prima riguarda la composizione della materia nell'universo visibi- ▶

Big Bang. Oggi, però, sulla base di più accurati modelli teorici, molti scienziati pensano che ci fosse qualcosa ancora prima: una sorta di preistoria, o meglio, una sorta di universo genitore che generò il nostro. E, magari, anche altri mondi "paralleli" al nostro.

Il modello classico del Big Bang, infatti, pur essendo valido in generale, non riesce a spiegare alcune caratteristiche essenziali del nostro universo attuale. Per esempio, il fatto che esso sia così omogeneo su larga scala: in qualsiasi direzione guardiamo, infatti, troviamo regioni molto simili tra loro, con la stessa densità, la stessa temperatura media. Nulla di strano, si potrebbe pensare, dato che subito dopo il Big Bang l'universo era concentrato in un punto. Però, perché due zone possano raggiungere la stessa temperatura è necessario che siano a contatto a lungo, proprio come è necessario aspettare qualche ora prima che un calorifero riscaldi una stanza. Nel modello classico dell'espansione, però, non ci fu il tempo perché il calore potesse fluire da un capo all'altro dell'universo e uniformare la temperatura.

Cosmologia in breve

Da quando è avvenuto il Big Bang, quasi 14 miliardi di anni fa, l'universo è in espansione. Nel disegno sono riprodotte, da sinistra a destra, le diverse fasi della sua storia, dall'origine fino ai nostri giorni. Anche se molti aspetti dei primissimi istanti sono ancora oscuri.

Un cosmo inflazionato

La spiegazione oggi più convincente è che, nei primissimi attimi, vi fu un'espansione superaccelerata, definita "inflazione", che superò di gran lunga persino la velocità della luce. Ciò non è in contraddizione con la teoria della relatività, perché l'espansione dello spazio è cosa ben diversa dal movimento nello spazio. Grazie all'inflazione, zone che prima erano vicine e in equilibrio tra loro furono proiettate su uno spazio molto ampio. Ciò implica, tra l'altro, che il nostro universo potrebbe essere molto più vasto di quello che vediamo.

L'inflazione ingigantì anche le piccole irregolarità nella densità dell'universo primordiale. Intorno a esse, centinaia di milioni d'anni più tardi, la materia si condensò sotto la spinta dell'attrazione gravitazionale e formò le protogalassie, un fatto che il modello classico del Big Bang non riesce invece a spiegare. L'impronta di queste fluttuazioni, tra l'altro, è ancora oggi impressa nella radiazione fossile di fondo, come hanno confermato le osservazioni, tra cui quelle del satellite Cobe (Cosmic background explorer), nel 1991, e della missione Boomerang, nel 2000.

Bolle di vuoto

Oggi, quasi nessuno mette in dubbio il fatto che l'inflazione ci sia stata. Ma rimane il dubbio: da che cosa nacque l'inflazione? La risposta di Alan Guth, fisico del Massachusetts institute of technology (Mit) di Boston (Usa), è disarmante: dal vuoto. O meglio, da quello che era il "vuoto" nelle condizioni di altissima temperatura del Big Bang. Negli anni Ottanta, infatti, Guth mostrò che in un tale "falso vuoto" la gravità, invece di essere attrattiva, può esercitare una spinta enorme verso l'esterno.

Così l'universo si espanse e si raffreddò in fretta, fino a che il falso vuoto divenne instabile e in esso cominciarono a formarsi ed espandersi "bolle" di vuoto (così come lo conosciamo oggi), un po' come fa il vapore nell'acqua bollente. Solo che nel caso del cosmo si trattava di un "congelamento".

Il nostro universo, insomma, non sarebbe altro che una bolla di vuoto in espansione nel falso vuoto. E le particelle che lo riempiono nacquero dall'energia liberata nel processo.

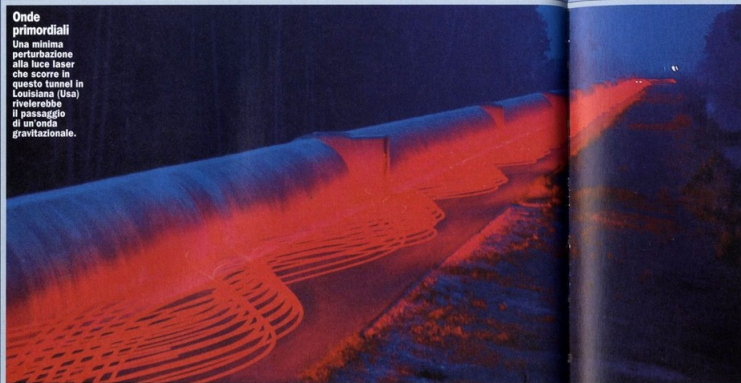
Generazione continua

Un modello più recente in grado di descrivere meglio le osservazioni è quello di Andrej Linde, fisico dell'Università di Stanford (Usa). Gli universi-bolla, secondo Linde, non nascono dal falso vuoto, ma da fluttuazioni casuali di energia nella struttura dello spazio vuoto. Queste fluttuazioni, tra l'altro, potrebbero nascere e ingigantirsi anche all'interno del nostro universo, generando infinite ramificazioni, un po' come un ramo che generi nuovi germogli. «Questo processo, che ho chiamato "inflazione eterna"» spiega Linde «va avanti come una reazione a catena». Il nostro sarebbe quindi uno dei tanti universi di un "multiverso" più ampio ed eterno.

Lee Smolin, fisico della Penn State university (Usa), pensa invece che i nuovi universi nascano da zone in cui la densità della materia è tale da curvare infinitamente lo spazio-tempo. Come avviene nei buchi neri, astri così densi che nemmeno la luce può sfuggire dalla loro attrazione gravitazionale. Spiega Smolin: «L'idea è che i buchi neri diano origine a nuove regioni dello spazio e del tempo e che in tutti questi eventi, che assomigliano al Big Bang, le leggi della fisica possano cambiare». L'universo-genitore potrebbe così trasferire al figlio una sorta di "patrimonio genetico" di leggi fisiche.

Selezione naturale

Smolin spinge il paragone ancora oltre: «Nella scelta delle leggi della fisica agisce qualcosa di simile a una legge di selezione naturale». Gli universi troppo densi, infatti, collasserebbero subito sotto l'effetto della loro stessa gravità. Quelli troppo rarefatti, invece, non riuscirebbero a produrre stelle. Solo gli uni- ▶

Onde primordiali
Una minima perturbazione alla luce laser che scorre in questo tunnel in Louisiana (Usa) rivelerebbe il passaggio di un'onda gravitazionale.

versi come il nostro, deduce Smolin, sono abbastanza equilibrati da produrre stelle e buchi neri. E, quindi, nuovi universi.

Universo "mamma"

Ancora più prolifico è l'universo proposto un paio di anni fa da Richard Gott e Li-Xin Li, due astrofisici dell'Università di Princeton, negli Usa. Secondo loro, alla base della dinastia di universi c'è un "universo madre", dove il tempo scorre ciclicamente e nascono senza fine embrioni di nuovi universi. «L'universo-madre non nasce dal nulla» sostiene Gott «ma è sorto da qualcosa, e quel qualcosa era se stesso». Gott e Li sono arrivati a questa conclusione quasi per caso, cercando soluzioni alle equazioni della relatività che consentissero viaggi nel tempo privi di paradossi: ottennero una sorta di tunnel spazio-temporale che si richiude su se stesso come una ciambella. Al suo interno, il passato coincide con il futuro, e tutto si ripete ciclicamente, come avverrebbe per un aereo che giri continuamente intorno alla Terra, passando sempre sugli stessi posti. Dall'universo "mamma" sarebbero quindi nati altri universi, tra cui il nostro, con un meccanismo simile a quello proposto da Linde e una direzione ben definita del tempo.

Oceano senza tempo

Un universo-madre, ma molto diverso dal precedente, è anche quello che propone Gabriele Veneziano, fisico al Cern di Ginevra, sulla base della teoria delle stringhe (v. riquadro nella pagina a destra). Si tratterebbe di una sorta di oceano primordiale, in cui il tempo non ha una direzione ben precisa.

«L'universo prima del Big Bang era un mare caotico di onde gravitazionali, elettromagnetiche e di altro tipo che interagivano debolmente tra loro» dice Veneziano. «Tutte le forze erano molto deboli e quindi non vi erano né nuclei atomici, né tanto meno atomi e molecole». In almeno un punto, però, la materia ha cominciato a condensarsi e collassare, sotto l'effetto della gravità. «All'interno di questa regione, la freccia del tempo cominciò a puntare in direzione del punto d'implosione. E la freccia rimase anche dopo che da questo collasso scaturì il Big Bang».

Come Guth, Linde, Smolin, Gott e Li, anche Veneziano prevede (o, meglio, non esclude) l'esistenza di universi paralleli, ciascuno governato da proprie leggi fisiche. In almeno uno di essi, questo lo sappiamo per certo, si sono evoluti esseri intelligenti capaci di interrogarsi sull'universo che li ha generati.

O di illudersi di farlo. ❑

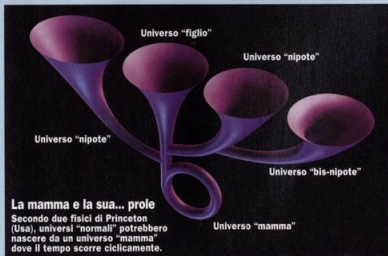
ALTERNATIVE

Ci sono altre teorie oltre a quella del Big Bang?

Accanto alle teorie ufficiali, esiste una piccola minoranza di scienziati che mette in dubbio le ipotesi su cui si basa la teoria del Big Bang.
Universo quasi stazionario. Proposto nella sua prima versione nel 1948 da Fred Hoyle, Thomas Gold e Hermann Bondi, fu a lungo il modello rivale del Big Bang: il cosmo continuerebbe sì a espandersi ma, nello spazio vuoto tra galassia e galassia, si creerebbe continuamente nuova materia. Ne basterebbe una quantità davvero impercettibile, pochissimi atomi per chilometro cubo all'anno, per rendere l'universo eterno e sempre uguale a se stesso.
L'universo non si espande. All'universo quasi stazionario crede anche Halton C. Arp, un astronomo che ha lavorato a lungo all'Osservatorio di Monte Palomar, negli Usa. Arp ha raccolto molte immagini in cui galassie che secondo le ipotesi convenzionali sarebbero lontanissime l'una dall'altra, sembrano invece vicinissime, e a volte persino collegate da ponti di materia. Arp sostiene che la frequenza di questi accoppiamenti è talmente elevata da escludere la possibilità di allineamenti casuali.
Costanti... incostanti. E se le costanti fisiche, come la velocità della luce, non fossero sempre state le stesse, come invece danno per scontato tutte le moderne teorie? Se lo è chiesto, tra gli altri, João Magueijo dell'Imperial college di Londra. Se ciò fosse vero, non ci sarebbe bisogno della teoria dell'inflazione per spiegare l'uniformità del nostro universo: in passato il calore (come la luce) si sarebbe potuto propagare molto più velocemente di oggi, rendendo la temperatura ovunque uniforme.

Cos'è la teoria delle stringhe?

Il fronte più avanzato della ricerca teorica è oggi focalizzato sulla teoria delle stringhe, nata nel 1968 da un'intuizione del fisico italiano Gabriele Veneziano.
Vibrazioni. Secondo questa teoria, complicatissima e ancora in fase di sviluppo, tutte le particelle elementari, come gli elettroni e i quark (che formano gli atomi), non sono oggetti puntiformi, ma minuscole corde, come elastici tesissimi, che vibrano in uno spazio a 10 dimensioni. Di queste, 6 sarebbero arrotolate su se stesse (per questo non le vediamo), mentre le altre 4 (tre spaziali e una temporale) si estendono su tutto il cosmo.
Nascoste. Come verificare questa ipotesi? Per esempio per mezzo di accurate misure dell'attrazione gravitazionale che si esercita tra oggetti molto vicini fra loro. Così facendo, un gruppo di scienziati dell'Università di Washington ha recentemente dimostrato che le dimensioni extra dell'universo, se esistono, non superano gli 0,2 mm. Altrimenti i fisici avrebbero misurato un'indebolimento della gravità, dovuto alla "diluizione" di questa forza nella dimensione aggiuntiva.

Delle 10 dimensioni dello spazio-tempo, 6 (nel disegno) sono avvolte su se stesse.

La mamma e la sua... prole
Secondo due fisici di Princeton (Usa), universi "normali" potrebbero nascere da un universo "mamma" dove il tempo scorre ciclicamente.

C'è davvero un decimo pianeta nel sistema solare?

È più probabile che ci sia un pianeta in meno piuttosto che uno in più. Plutone, infatti, è "sospetto": ha rischiato di venire declassato a semplice asteroide.

Il punto, al momento, è capire piuttosto se ne esistono ancora nove. Plutone, infatti, ha recentemente rischiato il "declassamento" ad asteroide quando si è capito che la sua origine è stata quasi certamente diversa da quella degli altri otto pianeti e più simile a quella di asteroidi e comete. A parte ciò, un decimo pianeta nel sistema solare non è mai stato trovato, anche se periodicamente qualcuno ne proclama l'esistenza. Ci sono tuttavia molti corpi rocciosi e ghiacciati piuttosto grandi che appartengono alla cosiddetta fascia di Edgeworth-Kuiper (di cui Plutone potrebbe essere il rappresentante più cospicuo) e sono situati oltre l'orbita di Nettuno. I due maggiori scoperti fino a ora sono Sedna e 2004DW. Entrambi hanno un diametro di circa 1.600 km, quasi due terzi di quello di Plutone. A questo punto non rimane che mettersi d'accordo sulla definizione di pianeta... ❑

Al di là di Nettuno
Nella fascia di Edgeworth-Kuiper vi sono oltre 70 mila oggetti più grandi di 100 km.

A che cosa servono gli anelli di Saturno?

Gli anelli di Saturno.

Formati di rocce e ghiaccio, sono molto appariscenti, ma non hanno una funzione o un'utilità specifica, come d'altronde non l'hanno neppure l'intero pianeta Saturno e tutti gli oggetti celesti, esclusi il Sole (che produce l'energia indispensabile alla vita) e forse la Luna (che sembra "stabilizzare" l'inclinazione dell'asse terrestre, e quindi il clima). Sull'origine degli anelli di Saturno ci sono due ipotesi: che si siano originati dalla distruzione di un satellite entrato in collisione con un altro corpo celeste; oppure che si tratti di materia che non ha potuto aggregarsi per formare un unico corpo a causa del disturbo gravitazionale provocato da Saturno.

Quanta acqua occorrerebbe per spegnere il Sole?

Il Sole, come tutte le stelle, produce calore grazie a reazioni nucleari che avvengono nel suo nucleo, non a reazioni chimiche. Non si può quindi dire che il Sole arda, come fa invece il fuoco nel caminetto. E infatti al suo interno si raggiungono temperature superiori ai 10 milioni di gradi, impossibili da riprodurre con una tradizionale combustione chimica. Le reazioni nucleari non si possono fermare con l'acqua: sarebbe invece necessario modificare le condizioni di pressione e temperatura che vi sono all'interno del Sole.

Se un'astronave viaggiasse alla velocità della luce, i fari funzionerebbero?

Funzionerebbero normalmente. Infatti, come mostrato dalla teoria della relatività ristretta di Albert Einstein, la velocità della luce appare la stessa per ogni osservatore inerziale, il cui moto cioè non sia accelerato.
In pratica, ciò significa che viaggiando a una qualunque velocità costante, per quanto prossima a quella della luce, vedremmo i fasci dei fari allontanarsi dalla nostra astronave alla loro consueta velocità.

Che cos'è l'infinito?

Le galassie nel fotomontaggio sono molto più grandi di quanto appaiano a occhio nudo. Per quanto ciascuna di esse contenga centinaia di miliardi di astri, il numero di stelle nell'universo osservabile non è infinito.

Che cos'è la luce cinerea?

Quando la Luna si presenta in cielo come una falce sottile è possibile accorgersi che anche la sua parte in ombra (cioè non illuminata direttamente dal Sole) non è del tutto nera e quindi invisibile. Una tenue luce di colore bianco-azzurrognolo la rischiara debolmente: è la luce cinerea. Essa è prodotta da una doppia riflessione: la luce del Sole che arriva sulla Terra viene in parte riflessa verso la Luna. Questa a sua volta ne ritorna una parte, sempre per riflessione, verso il nostro pianeta, rendendo visibile la parte in ombra. La luce cinerea è molto debole, perché nelle due riflessioni buona parte della luce va persa. La Terra ne riflette infatti il 40-45% e la Luna solo il 6-7%. Quindi è distinguibile solo quando la parte di superficie lunare illuminata dal Sole è tale da non offuscarla.

Perché gli astronomi chiamano "quarto di Luna" la nostra "mezza Luna"?

Perché si riferiscono al moto orbitale della Luna attorno alla Terra e non alla sua fase, cioè al suo aspetto. Le fasi vengono convenzionalmente contate a partire dal momento della Luna nuova, quando essa non si vede perché nella direzione del Sole. Nei giorni successivi il nostro satellite è in fase crescente e arriva a mostrarsi con la faccia illuminata per metà dopo circa una settimana. In quel momento, ha compiuto anche un quarto del suo periodico percorso attorno al nostro pianeta, e quindi è al "primo quarto".

L'infinito circonda la nostra vita, ma il nostro universo non lo è. E in matematica ci sono infiniti più infiniti di altri.

Il concetto di infinito si associa con difficoltà all'esperienza quotidiana, nella quale ci imbattiamo principalmente in quantità finite: la durata della vita, le dimensioni di una città o di un oggetto ecc. In realtà è facile incappare in quantità infinite: per esempio le parti in cui è possibile dividere un certo intervallo di tempo, oppure l'insieme dei numeri naturali (1, 2, 3, 4...).

Illimitato. Diversamente da ciò che spesso si pensa, però, non è infinito il nostro universo. Per lo meno nel modello di Einstein, secondo cui è sì illimitato ma finito. Come la superficie di una palla, su cui è possibile muoversi indefinitamente, ma che ha un'area precisa. La fisica suggerisce invece il concetto di infinitamente piccolo. Non è da escludere, infatti, che anche le particelle più piccole conosciute, i quark, possano essere ulteriormente divisibili.

In matematica esiste addirittura una gerarchia degli infiniti: alcuni (come i punti di una retta) sono più infiniti di altri (per esempio i numeri interi), come dimostrato nel XIX secolo da Georg Cantor. Che finì la vita in manicomio. ❑

Se tutta la materia dell'universo fosse raggruppata in un punto, quanto spazio occuperebbe?

La quantità totale di materia nell'universo è argomento di dibattito tra gli astronomi, ma si stima che quella osservabile assommi a circa 2x1051 kg (cioè 2 mila miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di tonnellate), contenuta in uno spazio sferico di 13-14 miliardi di anni luce di raggio. Se si potesse spingerla tutta al centro, per effetto della sua stessa gravità collasserebbe in un formidabile buco nero e forse darebbe origine a un altro Big Bang; se però facciamo l'ipotesi che essa mantenga la stessa densità del Sole (1.410 kg/m3), allora occuperebbe circa 1048 m3. In sostanza, tutta la materia dell'universo potrebbe essere contenuta in una sfera di un anno luce di raggio (meno della distanza del Sole dalla stella più vicina).

C'è nessuno? Ciò significa che solamente lo 0,0000000000000000000000000001% dell'universo contiene realmente materia. Come dire: l'universo è un luogo piuttosto vuoto!

Perché lo Space shuttle si avvita su se stesso dopo il lancio?

I motivi sono diversi: per consentire al pilota di "guidare" vedendo la Terra, ma soprattutto per mantenere un angolo di salita corretto per l'immissione in orbita.

Lo shuttle si alza dalla rampa di lancio in modo perfettamente verticale, affinché le sue parti non urtino la rampa stessa e quella che si trova accanto, che ospita un parafulmine. Nel giro di 20 secondi, però, abbassa il muso di 70-80 gradi e ruota di 180 lungo l'asse longitudinale, mettendosi "a pancia su".

Questa manovra serve a porsi sulla traiettoria ottimale per l'immissione in orbita, a mantenere il corretto angolo di salita e a ottimizzare il carico aerodinamico sulle ali, che in quella fase è massimo. Inoltre, consente a pilota e comandante di avere la visuale della Terra sottostante come riferimento. ❑

SEGNALI Gli alieni potrebbero ricevere i programmi tv?

Anche supponendo che eventuali civiltà aliene abbiano sviluppato una tecnologia adeguata, è probabile che ciò non sarebbe ugualmente possibile. L'intensità dei segnali elettromagnetici (come quello della tivù) si indebolisce infatti con il quadrato della distanza: cioè a distanza doppia il segnale diventa 4 volte più debole. Oltre una certa distanza si perderebbe quindi buona parte dell'informazione, anche a causa del degrado subito dalle trasmissioni a livello di frequenza e fase.

Disturbi. Gli alieni, quindi, vedrebbero prevalentemente la "neve" tipica di un canale non sintonizzato, tra la quale noterebbero però vaghe ombre in movimento che farebbero loro intuire che si tratta di un segnale modulato di origine intelligente.

Comunque sia, lo schema sotto illustra che cosa potrebbero sperare di vedere oggi gli abitanti di ipotetici pianeti attorno ad alcune delle stelle più vicine a noi.

Wolf 359 (7,7 anni luce): la Francia vince i mondiali di calcio (1998).

Vega (25 anni luce): prima trasmissione di Canale 5 (1980).

51 Pegasi (48 anni luce): il primo Carosello (1957).

Gliese 105 (28 anni luce): prime trasmissioni Rai a colori (1977).

Gliese 876 (16 anni luce): cade il muro di Berlino (1989).

SOLE

La storia tv in viaggio
Nello schema, le distanze da noi a cui sono giunti i segnali televisivi di alcune delle trasmissioni più significative.

Riverbero abbacinante
Astronauti dello shuttle, a 600 km di quota, si apprestano a intervenire sul telescopio spaziale Hubble (sullo sfondo).

CENERI Ci si può far seppellire sulla Luna?

Seppellire ancora no, ma spedirvi le proprie ceneri volendo sì. La Celestis Inc. (www.celestis.com) è una compagnia americana di pompe funebri che offre servizi molto particolari. Il primo, attivo dal 1997, prevede che una parte delle ceneri della persona cara venga collocata in una capsula che viene inviata in orbita attorno alla Terra in occasione del lancio di un satellite. I prossimi lanci sono previsti per settembre 2005 e per il primo trimestre del 2006. Il tutto per 5.300 dollari.

Viaggio ultraterreno. La stessa compagnia sta raccogliendo le adesioni per il lancio di un'analoga capsula in orbita lunare, al costo di 12.500 dollari a testa. Vi è già un precedente: le ceneri dell'astronomo Eugene Shoemaker vennero inserite nel 1998 in una capsula messa a bordo di una sonda della Nasa, la Lunar Prospector. Dopo un anno e mezzo di rilevazioni stando in orbita attorno alla Luna, la sonda (ceneri comprese) fu fatta precipitare sulla superficie del nostro satellite.

BUDGET Quanto costa ogni missione?

Secondo le dichiarazioni dell'ente spaziale Usa, la Nasa, una missione dello Space shuttle costa in media 480 milioni di euro. Il costo per la costruzione di una navetta, riutilizzabile per più di 100 missioni, è invece tra 1,5 e 2 miliardi di euro.

Cosa sono gli "iperoni"?

I nuclei atomici sono formati da protoni e neutroni, i quali a loro volta sono formati da gruppi di tre particelle dette quark. In generale, i quark possono essere di 6 tipi diversi, chiamati up, down, strange, charme, bottom e top. Di questi, gli unici stabili (sulla Terra) sono i quark up e down, che sono appunto quelli che compongono protoni e neutroni.

Instabili. Gli "iperoni" sono particelle simili a questi ultimi, nel senso che sono formati da tre quark, ma contengono al loro interno anche quark instabili, come strange, charme, bottom e top. L'iperone Lambda, per esempio, contiene un quark up, un quark down e uno strange, mentre l'iperone Omega si compone di tre quark strange.

I primi iperoni sono stati osservati nel 1947, tra i raggi cosmici, dai fisici George Rochester e Clifford Butler, ma oggi molti iperoni e "ipernuclei" si producono in laboratorio. Si pensa che queste particelle esistano anche all'interno di stelle molto dense come le stelle di neutroni. ❑

Al Fermilab di Chicago (Usa) si studiano le proprietà degli iperoni.

ASTRI Perché le stelle scintillano?

Guardando il cielo notturno, ci si accorge che le stelle sembrano "tremolare". È quella che gli astronomi chiamano scintillazione. Ma la luce delle stelle non tremola affatto; la scintillazione è soltanto una deformazione introdotta dall'atmosfera terrestre, che la luce stellare deve attraversare per giungere ai nostri occhi. L'atmosfera infatti è in perenne movimento a causa del suo continuo rimescolarsi. Inoltre presenta sensibili differenze di densità da punto a punto; quindi la luce che l'attraversa subisce fenomeni di rifrazione, "zigzagando" un po'. Sono questi meccanismi a causare l'apparente tremolio, analogo a quello che si nota d'estate quando si guarda in lontananza lungo una strada asfaltata.

È vero che l'Apollo 11, di ritorno dalla Luna, dovette passare la dogana?

Gli astronauti dell'Apollo 11 vengono "disinfettati" subito dopo il rientro.

Incredibilmente, sì. L'equipaggio dell'Apollo 11, il primo a mettere piede sulla Luna, rientrò il 24 luglio 1969 dopo 8 giorni e 3 ore di missione, ammarando in pieno oceano Pacifico, a sud-ovest delle Hawaii.

Nulla da dichiarare? Tra i vari record stabiliti da Neil Armstrong, Edwin "Buzz" Aldrin e Michael Collins ci fu indubbiamente anche quello di essere i primi uomini a rientrare sul pianeta Terra dopo essere stati "in un altro posto". Questo non sfuggì agli implacabili funzionari statunitensi, che fecero compilare ai tre astronauti un modulo per l'immigrazione e la dogana. Su di esso, la cui autenticità è confermata dagli storici della Nasa, si leggono le informazioni sul volo (luogo di partenza: Luna, luogo di arrivo: Honolulu) e sul carico portato a casa dagli astronauti (campioni di rocce e polveri lunari). Alla domanda se qualcuno fosse stato sbarcato o si fosse unito ai passeggeri nel corso del volo, la rassicurante risposta è: "Nessuno". Cioè niente dispersi, né alieni.

Il modulo doganale con le firme degli astronauti.

BUIO Dallo shuttle le stelle si vedono anche di giorno?

Secondo Mike Mullane, che ha volato 3 volte sullo shuttle, quando la navetta si trova dal lato illuminato dal Sole l'unica stella visibile è Sirio, la più brillante del cielo. Sono poi visibili i pianeti Giove, Saturno e Venere (oltre alla Luna). Malgrado l'assenza di atmosfera, il riflesso di nubi, oceani e dello stesso shuttle è così intenso da impedire la visione di qualunque oggetto meno luminoso.

La sonda Mars Odissey (nel disegno) ha confermato la presenza di acqua nel sottosuolo marziano.

Perché si diceva che su Marte ci fossero canali artificiali?

Fino all'inizio del '900, la possibilità che i "marziani", cioè gli abitanti di Marte, esistessero davvero era tenuta in seria considerazione. Nel 1877, l'astronomo Virginio Schiaparelli effettuò dall'Osservatorio di Brera, a Milano, dettagliate osservazioni del "pianeta rosso". Nei suoi disegni (la fotografia astronomica non era ancora diffusa), alcune zone del pianeta apparivano unite da sottili linee scure che Schiaparelli chiamò "canali". Diversi altri astronomi del tempo confermarono di aver visto i canali, mentre per altri non esistevano. La polemica venne alimentata dalla traduzione in inglese del termine "canale" con *canal*, che indica una struttura artificiale, anziché con *channel*, che si riferisce alle formazioni naturali. Qualche anno dopo, l'astronomo americano Percival Lowell sostenne che i canali erano stati costruiti da esseri intelligenti per l'irrigazione del pianeta. Verso il 1910, però, osservazioni con telescopi più potenti dimostrarono che i presunti canali erano in realtà un'illusione ottica, determinata dalla tendenza dell'occhio umano a collegare punti separati in modo da dare loro l'apparenza di linee. E i marziani passarono alla fantascienza.

A sinistra, una mappa di Marte disegnata da V. Schiaparelli tra il 1877 e il 1888. Visibili i canali.

Che cosa sono le galassie?

Ruotano, precipitano, si avvicinano e si allontanano. Ecco i mattoni fondamentali dell'universo. In tutto, sono circa 100 miliardi.

Sembrano tranquille, immobili, immutabili. Ma è solo un' apparenza. In realtà sono estremamente vivaci, dinamiche, imprevedibili. Almeno se si lascia loro un tempo sufficiente.
Sono le galassie, i mattoni fondamentali dell'universo. Agglomerati di centinaia di miliardi di stelle osservabili in tutte le direzioni del cielo. Anche la Terra, con tutto il sistema solare, si trova all'interno di una galassia: la Via Lattea.

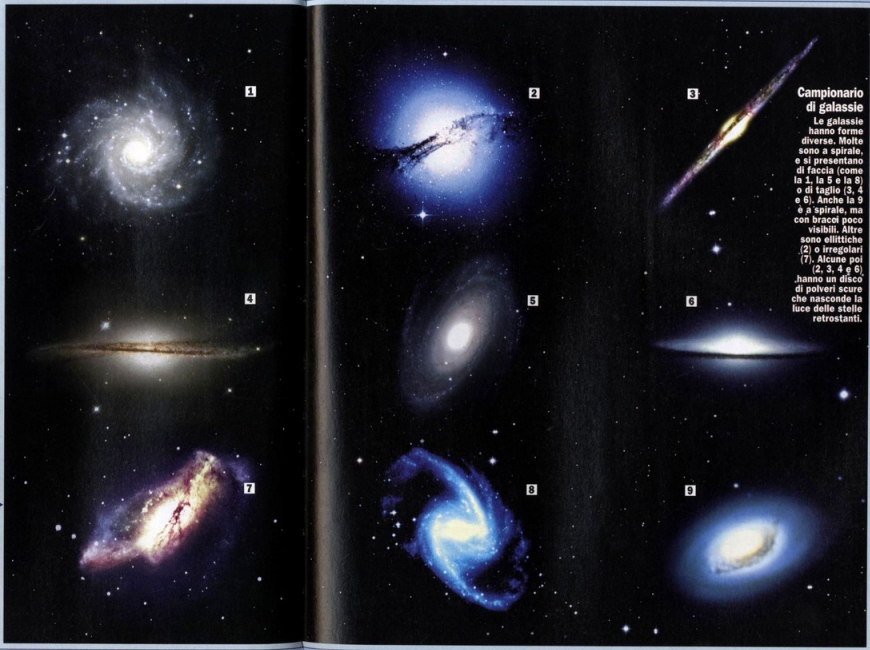
Stelle a 220 km al secondo

Le galassie sono in genere classificate in base alla loro forma: diffusa è quella ellittica, ma ci sono anche galassie il cui aspetto è del tutto irregolare. E altre, molto comuni, che hanno una forma a spirale come la nostra: le sue stelle si muovono vorticosamente, sia per l'attrazione di stelle vicine sia perché tutta la galassia ruota, come un'immensa girandola.

Alla distanza a cui si trova il Sole (circa 28 mila anni luce dal centro) le stelle fanno un giro in circa 200 milioni di anni alla rispettabile velocità di 220 km al secondo. Questo significa tra l'altro che, se fossimo vissuti al tempo dei dinosauri, di notte avremmo visto un cielo completamente diverso da quello attuale, perché allora il sistema solare si trovava dalla parte opposta della galassia.

Fu proprio studiando i moti orbitali delle stelle nelle galassie a spirale che l'astronoma americana Vera Rubin, ▸

GALASSIE Quanto distano da noi le più lontane?

Le galassie più distanti che siano state fotografate si trovano a circa 13 miliardi di anni luce dalla Terra, in direzione dell'Orsa Maggiore. In altri termini, quando queste galassie si sono formate l'universo aveva solo circa un miliardo di anni, cioè un quattordicesimo della sua età attuale. Per riuscire a riprenderle è stata necessaria una posa di 36 ore con il telescopio spaziale Hubble.

Campionario di galassie
Le galassie hanno forme diverse. Molte sono a spirale, e si presentano di faccia (come la 1, la 5 e la 8) o di taglio (3, 4 e 6). Anche la 9 è a spirale, ma con bracci poco visibili. Altre sono ellittiche (2) o irregolari (7). Alcune poi (2, 3, 4 e 6) hanno un disco di polveri scure che nasconde la luce delle stelle retrostanti.

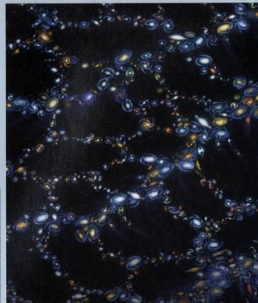
▶ circa trent'anni fa, si accorse che c'era qualcosa che non tornava: la velocità a cui le stelle si muovevano era sensibilmente più elevata del previsto, come se ci fosse stato qualcosa di invisibile ma molto massiccio che le "tirava". Poiché questo "qualcosa" non era visibile con le normali tecniche di osservazione, venne chiamato "materia oscura" e, per quanto le ipotesi al riguardo non manchino, la sua natura è tuttora ignota.

Origine misteriosa

Lo studio delle galassie, malgrado i grandi progressi fatti negli ultimi vent'anni, mostra anche altri lati "oscuri". Tra i principali enigmi c'è quello della loro origine. «Delle varie teorie al riguardo, oggi sembra prevalere quella che gli astronomi chiamano del "clustering gerarchico", cioè dell'aggregazione successiva di strutture piccole fino a formare quelle grandi» dice Nicola Menci, astronomo dell'Osservatorio di Monte Porzio (Roma). «In pratica, all'inizio della storia dell'universo, qualche centinaio di migliaia di anni dopo il Big Bang, esistevano minuscole disomogeneità nella distribuzione della materia, lievi perturbazioni di densità. Queste, un po' alla volta, attirarono altra materia, aumentando la propria densità e la propria massa. In questo modo si formarono le prime protogalassie. A loro volta, queste si aggregarono fino a formare le galassie, le quali si sono poi raggruppate in ammassi e superammassi di galassie, le strutture più grandi osservabili nel cosmo». Ma indagare le origini delle galassie significa guardare molto lontano nello spazio e nel tempo. E le difficoltà sono molte. «Purtroppo le galassie primordiali ci appaiono così deboli e indistinte» aggiunge Guido Chincarini, già direttore dell'Osservatorio astronomico di Brera-Merate «che è davvero difficile capire la loro forma. Si vedono appena con strumenti come il telescopio spaziale».

Collisioni cosmiche

Le galassie infatti non sono corpi celesti solitari. O almeno non sempre. A volte si trovano a passare così vicine le une alle altre che gli effetti dell'incontro possono essere distruttivi. Nella migliore delle ipotesi, le due galassie interagenti si "stirano" e si deformano a vicenda. Ma se una delle due è molto più piccola dell'altra può uscire dallo scontro completamente distrutta, o addirittura può venire inglobata dalla maggiore. Non a caso si parla di "cannibalismo" tra galassie. E non è tutto: le interazioni possono trasformare un certo tipo ▶

Variazioni sul tema
La Via Lattea, ripresa con una foto a lunga posa (nel montaggio a sinistra) nella regione del Sagittario, e interpretata da Rubens nel dipinto *L'origine della Via Lattea* (sopra), secondo la mitologia greca.

Bolle di universo. **La distribuzione delle galassie a grande scala ricorda la struttura di una spugna, con grandi vuoti e densi agglomerati.**

MOVIMENTO

Si stanno tutte allontanando l'una dall'altra?

Non tutte le galassie sono in allontanamento dalla nostra. Alcune le si stanno avvicinando, e addirittura è possibile prevedere che si scontreranno con la Via Lattea. Specie le più vicine, appartenenti a una famiglia di una trentina di galassie detta Gruppo Locale.
In arrivo. Per esempio le Nubi di Magellano orbitano come satelliti attorno alla nostra galassia, con la quale, prima o poi, sono destinate a collidere. Lo stesso avverrà con la galassia di Andromeda (in questa foto), distante circa 2,2 milioni di anni luce. Sta "cadendo" verso la Via Lattea alla folle velocità di 250 km/s. La notizia positiva? Prima di arrivare dalle nostre parti ci vorranno alcuni miliardi di anni...

Il Gruppo Locale, l'insieme di galassie più vicine alla nostra.

Maree galattiche

Cos'hanno in comune due galassie che si scontrano con il su e giù degli oceani della Terra? Poco, sembrerebbe. Invece sono entrambi "effetti mareali", fenomeni in cui si esercitano, sui corpi coinvolti, forze gravitazionali non omogenee, cioè con intensità diversa da punto a punto.
Alta marea. Così le alte e le basse maree degli oceani sono determinate dall'attrazione gravitazionale differenziata della Luna (e, in parte, del Sole), che è maggiore sul lato del pianeta rivolto verso il nostro satellite e inferiore sul lato opposto.
Allungata. La Luna, che non ha oceani, subisce invece una "marea solida", cioè si deforma essa stessa; il nostro satellite, infatti, non è del tutto sferico ma è leggermente allungato nella direzione della Terra.
In modo analogo, quando due galassie si avvicinano l'una all'altra, si deformano e si "stirano" a vicenda per effetto della reciproca gravità.

▶di galassia in un altro. «I modelli teorici mostrano che se la collisione avviene tra due galassie a spirale di massa simile» dice ancora Nicola Menci «il disco delle spirali si distrugge, portando a una galassia ellittica».

Alla prova dei fatti

Ci sono diverse prove che questo avvenga anche nella realtà, e non solo nei modelli degli astrofisici. Per esempio, osservazioni recenti hanno mostrato che alcune galassie ellittiche (soprattutto quelle molto massicce, con oltre 1.000 miliardi di stelle) hanno un disco centrale che ruota in direzione opposta a quella delle regioni esterne. Questo strano comportamento può essere spiegato supponendo che queste galassie si siano formate dallo scontro e dalla successiva fusione di oggetti primordiali simili alle odierne galassie a spirale.

Ma non c'è da spaventarsi. Le collisioni tra galassie sono eventi che richiedono tempi così lunghi (milioni di anni o più) da risultare estremamente... morbide. Inoltre non si tratta di collisioni vere e proprie: le due galassie "penetrano" l'una nell'altra senza che ci sia necessariamente contatto tra le singole stelle.

Questi eventi, poi, producono anche conseguenze positive: a causa dell'interazione, il gas presente nelle galassie cade verso il centro e, comprimendosi, innesca una intensa ondata di formazione di nuove stelle.

Moto d'espansione

Ampliando gli orizzonti, e osservando le galassie più distanti, ci si accorge che la maggior parte di esse si allontana da noi. Ma non solo: ogni galassia si allontana da tutte le altre. E la velocità con la quale si allontanano è tanto maggiore quanto più si guarda lontano.

Questo movimento complessivo delle galassie, "trascinate" dall'espansione del tessuto spazio-temporale che costituisce l'universo, viene detto "flusso di Hubble".

Su scale di distanza minori, però, le cose si complicano. Al flusso di Hubble si sovrappongono altri moti.

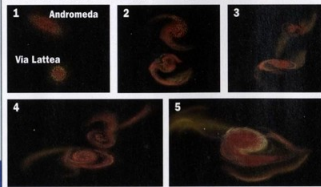
Per esempio, all'interno del cosiddetto Gruppo Locale (la famiglia di galassie, distribuite in circa 3 milioni di anni luce, a cui appartiene anche la Via Lattea, v. riquadro in alto) i moti sono relativamente caotici.

Il Grande Attrattore

«Invece, su scale di distanze di 100-200 milioni di anni luce» spiega Nicola Menci «la Via Lattea e le sue vicine sono sottoposte a una sorta di "tiro alla fune" tra un ammasso di galassie che si trova nella direzione della costellazione di Perseo e la costellazione dei Pesci e un altro ammasso che è detto "Grande Attrattore"». Piuttosto inquietante ma, ancora una volta, senza conseguenze immediate. ❑

Scontro tra galassie: Andromeda ci cannibalizzerà

Una simulazione di quando la Via Lattea e la galassia di Andromeda (1) si scontreranno (v. riquadro in alto a sinistra). Le due galassie iniziano a risentire della gravità reciproca (2) e i bracci a spirale si deformano (3). La distorsione diventa più evidente (4), finché si fondono (5). Qualcosa di analogo sta accadendo a M51 e Ngc 5195 (nella foto a destra).

Perché le orbite dei pianeti sono sullo stesso piano?

La nebulosa protoplanetaria da cui si sono formati i pianeti del sistema solare, circa 4,6 miliardi di anni fa. La sua struttura, appiattita dalla rotazione, si riflette oggi nella (quasi) complanarità delle orbite dei pianeti.

I pianeti del sistema solare si sono formati a partire dalla stessa nube di gas e polveri da cui, nel centro, si è formato il Sole. A causa del suo moto di rotazione, la nube si schiacciò su se stessa per effetto della forza centrifuga, formando un disco relativamente sottile. E proprio in questo disco si formarono i pianeti, grazie a un processo di successiva aggregazione di materia.

Antica memoria. Il piano su cui tutti i pianeti più o meno si trovano oggi riflette perciò quello dell'originale nube protoplanetaria. E il fatto che i pianeti orbitino tutti nello stesso verso intorno al Sole testimonia del verso di rotazione della nube. ❑

Cosa accadrebbe se un mini buco nero colpisse la Terra?

Potrebbero esistere microscopici buchi neri, formatisi alla nascita dell'universo. Piccoli ma pericolosi: avrebbero forza sufficiente a "divorare" la Terra.

I buchi neri sono i corpi celesti più densi possibile, e normalmente si formano in seguito alla morte di stelle decine di volte più grandi del Sole (altrimenti la pressione gravitazionale nella stella progenitrice non sarebbe sufficiente a generarli).

I buchi neri che ne risultano hanno un diametro di almeno 6 chilometri. Una ventina di anni fa, però, il fisico teorico Stephen Hawking ipotizzò l'esistenza di mini buchi neri, di massa pari a quella di una montagna (un miliardo di tonnellate) e dimensioni inferiori a quelle di un nucleo atomico (un milionesimo di milionesimo di millimetro). Questi oggetti si sarebbero formati non da una stella, ma durante la nascita dell'universo.

Perforata. Se un tale mini buco nero si scontrasse con la Terra ad alta velocità, presumibilmente ci passerebbe attraverso, perché le sue dimensioni molto piccole e la sua massa non sarebbero sufficienti ad attirare e fagocitare un gran numero di atomi terrestri. Se però l'urto avvenisse a velocità ridotta, il buco nero tenderebbe a depositarsi al centro della Terra e a divorare sempre più velocemente il nostro pianeta dall'interno. ❑

L'immaginario impatto di un piccolo buco nero con la Terra. La sua forza di gravità sarebbe sufficiente a inghiottire l'intero pianeta.

ASTROFISICA — Che cosa sono i monopoli magnetici?

Così come le cariche elettriche possono essere positive o negative, anche i poli magnetici sono di due tipi: nord e sud. Ma mentre i due tipi di cariche elettriche possono esistere indipendentemente l'uno dall'altro, i poli nord e sud sono sempre collegati: se si spezza una calamita in due, non si ottengono due poli, ma due calamite, ciascuna con i suoi poli magnetici.

Introvabili. Nel 1931, però, il fisico teorico britannico Paul Dirac dimostrò che l'esistenza di particelle dotate di un solo polo magnetico, i "monopoli", spiegherebbe quello che è ancora un mistero della fisica: perché la carica elettrica si presenti in natura soltanto come multiplo di una quantità fondamentale (quella dell'elettrone). Non solo: anche la "carica magnetica" dei monopoli assumerebbe soltanto valori multipli di una quantità fondamentale.

Molte moderne teorie fisiche si basano sull'esistenza di questi monopoli magnetici, i quali però, nonostante molte ricerche, non sono ancora stati trovati.

Sotto 1,4 km di montagna
L'esperimento "Macro", sotto il Gran Sasso, va a caccia di monopoli magnetici forse prodotti dai raggi cosmici.

Qual è la cosa più grossa che conosciamo?

Se ci riferiamo a un singolo oggetto solido, il primato è conteso tra alcune stelle. Tra esse vi sono Betelgeuse (che ha un diametro stimato pari a 1.500 volte quello del Sole), Mu Cephei (1.200 volte, ma secondo alcuni oltre 2 mila) e, soprattutto, la stella che periodicamente eclissa Epsilon Aurigae: invisibile, sembra essere la stella più fredda, rarefatta e grande conosciuta: 2.700 volte il diametro del Sole.

In termini di massa, invece, tra le stelle una candidata molto forte è la cosiddetta Pistol Star, situata nei pressi del centro della Via Lattea. Secondo recenti osservazioni, ha una massa 250 volte superiore a quella del Sole. Ma su questo terreno entrano in gioco anche i buchi neri, oggetti relativamente piccoli ma estremamente densi: alcuni avrebbero una massa pari a qualche miliardo di soli. Contro di loro, insomma, non ci sarebbe partita.

COSE DA FILM — Si potrebbe andare sulla Luna con la navetta spaziale?

No. Lo shuttle non è costruito per uscire dall'orbita terrestre. Può arrivare a un'altezza massima di circa 650 km, che è solo due millesimi della distanza che ci separa dalla Luna. La navetta spaziale raggiunge infatti una velocità di 28 mila km/h, inferiore a quella necessaria per sfuggire alla forza di gravità della Terra (40 mila km/h).

Gli Ufo potrebbero venire dal nostro futuro?

In teoria si potrebbe viaggiare a ritroso nel tempo solo fino all'epoca della macchina del tempo. Se gli Ufo esistono e vengono dal futuro, quindi, la macchina del tempo da qualche parte c'è già.

Che gli Ufo rappresentino nostri lontani discendenti in visita nel passato è in linea di principio possibile, anche se piuttosto improbabile. Un viaggio nel tempo pone problemi di causalità molto stringenti, che portano facilmente a paradossi (classico è l'esempio dell'individuo che va nel passato e uccide la propria madre prima che lo metta al mondo).

Per evitare queste situazioni è presumibile che le stesse leggi della fisica impediscano a eventuali "cronoviaggiatori" di cambiare il passato.

Limitazioni. Inoltre, secondo le attuali teorie, non si potrebbe tornare indietro nel tempo a piacimento, ma solo fino al momento in cui la macchina del tempo è stata creata. Se gli Ufo vengono dal futuro, quindi, una tale macchina deve esistere già, da qualche parte qui attorno. Ciò significa anche che potremmo assistere alla nascita di Gesù, o all'estinzione dei dinosauri, solo se una macchina del tempo (artificiale o naturale) fosse già stata presente in quelle epoche. ❑

Un disegno a tema ufologico. C'è chi ipotizza che gli Ufo non abbiano a che fare con gli extraterrestri ma con viaggiatori del tempo provenienti dal nostro futuro.

Come fanno gli astronauti a grattarsi?

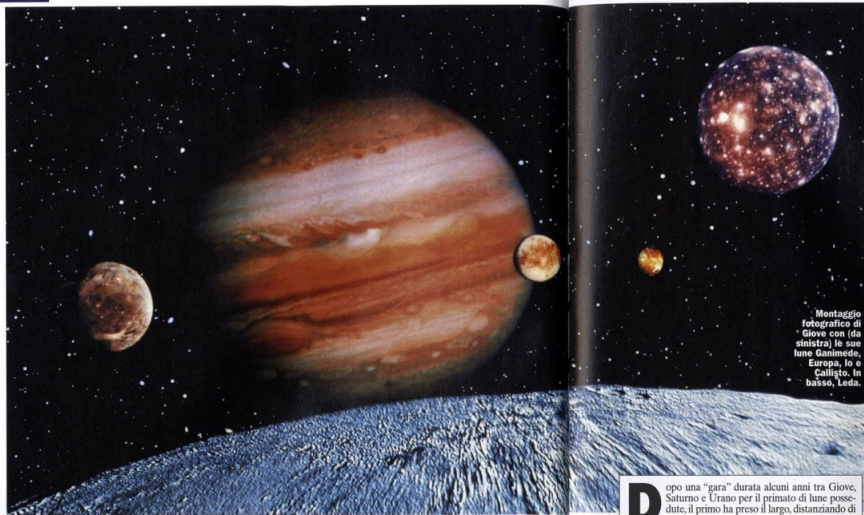
Il problema si presenta soltanto con la tuta per l'attività extraveicolare (piuttosto rigida), dato che quella arancione indossata nelle fasi del decollo e del rientro è morbida e consente un'ampia libertà di... grattamento.

Che prurito! Secondo le dichiarazioni di alcuni astronauti, il prurito più fastidioso è quello al viso, in particolare al naso. Alcuni lo superano strofinandolo su una valvola che si trova all'interno del casco utilizzato per le passeggiate spaziali, oppure sulla cannuccia dalla quale si dissetano durante l'attività extraveicolare. Per quanto riguarda il resto del corpo, la tuta è pressurizzata, e quindi abbastanza rigida da non permettere di esercitare una pressione sulla pelle. Gli astronauti possono però tentare di trovare sollievo al prurito strofinandosi su di essa dall'interno.

Come in uno scafandro

Le tute bianche, quelle per le passeggiate spaziali, sono le più scomode.

L'aumento di CO_2 nell'atmosfera sta rallentando la rotazione terrestre?

Il periodo di rotazione della Terra subisce normalmente piccole fluttuazioni, dovute a cambiamenti nella circolazione dei venti e delle correnti oceaniche a grande scala.
Ma secondo alcuni scienziati belgi, il continuo aumento di anidride carbonica nell'atmosfera, incidendo su questi movimenti, porterà a un rallentamento della Terra e quindi a un aumento della durata del giorno di 1 milionesimo di secondo all'anno. Un effetto del tutto inavvertibile sulla scala dei tempi umani.
Anche con gli strumenti più sofisticati, il periodo di rotazione del nostro pianeta è oggi misurabile con una precisione di circa 10 milionesimi di secondo. Saranno quindi necessari alcuni anni perché l'ipotesi di questi ricercatori sia verificata (o confutata) sperimentalmente.

Montaggio fotografico di Giove con (da sinistra) le sue lune Ganimede, Europa, Io e Callisto. In basso, Leda.

Qual è il pianeta del nostro sistema solare che ha il maggior numero di lune?

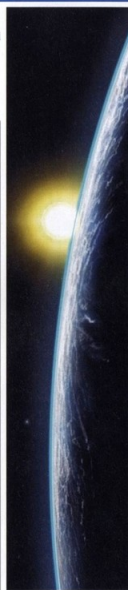
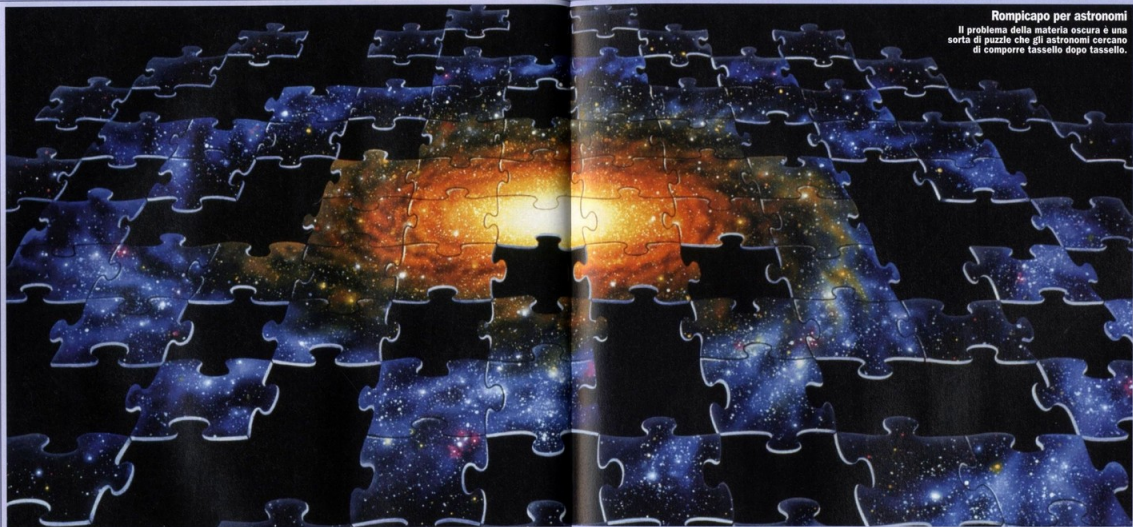
Dopo una "gara" durata alcuni anni tra Giove, Saturno e Urano per il primato di lune possedute, il primo ha preso il largo, distanziando di molto gli altri due grazie ai ben 21 nuovi satelliti naturali scoperti nei primi mesi del 2003. Attualmente, quindi, Giove ha 63 satelliti noti, Saturno 34 e Urano 27 (di cui sei ancora senza nome). La maggior parte dei nuovi satelliti di Giove è stata scoperta da Scott S. Sheppard, David C. Jewitt e Jan Kleyna utilizzando due potenti telescopi installati all'osservatorio di Mauna Kea (Hawaii).

Senza fine. Non esiste un limite teorico al numero di lune di un pianeta. Esiste solo un limite pratico, determinato dalla capacità dei nostri strumenti di rilevare oggetti sempre più piccoli e meno luminosi in orbita attorno ai pianeti del sistema solare. ❑

Perché il giorno in cui il Sole tramonta prima non è lo stesso in cui sorge più tardi?

L'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre fa sì che man mano che la Terra si sposta lungo l'orbita avvicinandosi al punto del solstizio d'inverno (per l'emisfero boreale), l'arco diurno del Sole, cioè il suo percorso apparente sopra l'orizzonte, si accorci. Quindi l'alba ritarda e il tramonto anticipa (andando verso il solstizio d'estate avviene il contrario). Ma poiché l'orbita terrestre non è perfettamente circolare e dunque la Terra non si muove sempre alla stessa velocità, il Sole non si ripresenta a sud ogni giorno nel medesimo istante, arrivando ad accumulare fino a circa 15 minuti di anticipo o di ritardo. Questo, in autunno, ha l'effetto di ritardare sia l'alba che il tramonto.

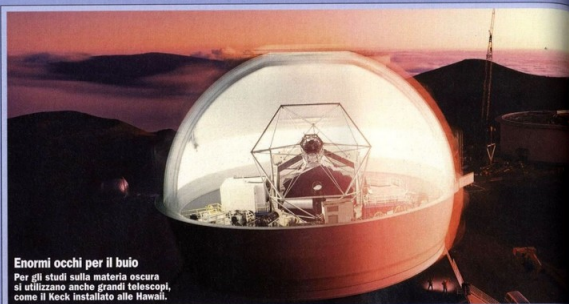
Fa buio presto. Fino all'8 dicembre prevale il primo fattore, perciò fino a quella data il tramonto anticipa. Dall'8 dicembre al 5 gennaio, invece, prevale il secondo effetto: quindi sia l'alba che il tramonto ritardano. La situazione cambia di nuovo dopo il 5 gennaio, quando torna a prevalere il primo fattore e quindi l'alba smette di ritardare e inizia ad anticipare. Risultato: le sere intorno all'8 dicembre sono quelle in cui il Sole tramonta prima, e le mattine intorno al 5 gennaio quelle in cui sorge più tardi. Combinando gli istanti di alba e tramonto, però, il dì con la durata minore risulta essere il giorno del solstizio d'inverno, cioè il 22 dicembre.

Un giorno via l'altro
Il tramonto del Sole visto dall'orbita terrestre. Su uno Space shuttle, il "giorno" dura circa 90 minuti.

Rompicapo per astronomi
Il problema della materia oscura è una sorta di puzzle che gli astronomi cercano di comporre tassello dopo tassello.

Che cos'è la materia oscura che muove tutto l'universo?

Tiene insieme gli ammassi di galassie, accelera il moto delle stelle, modifica lo spazio-tempo. C'è, anche se nessuno riesce a dire con certezza dove si trovi e di che cosa sia composta, perché sfugge ai telescopi.

Prendete un paio di wimp, aggiungete una ragionevole quantità di fotini, squark, gravitini e, naturalmente, neutrini. Mettete il tutto in un superammasso di galassie a medio redshift e misurate omega: se viene maggiore di 1 è fatta, l'universo è chiuso.

Non vi sembra chiaro? Tranquilli, è normale. Non per niente stiamo parlando di materia... oscura. Uno dei maggiori rompicapi dell'a- ▶

Enormi occhi per il buio
Per gli studi sulla materia oscura si utilizzano anche grandi telescopi, come il Keck installato alle Hawaii.

Nube bollente ai raggi X
La nube di gas a 10 milioni di gradi (in magenta) che avvolge alcune galassie è tenuta insieme da materia oscura.

▶strofisica moderna. Materia che c'è, ma non si vede. Tiene insieme gli ammassi di galassie, accelera il moto delle stelle, modifica lo spazio-tempo, ma nessuno riesce a dire con certezza dove si trovi, di che cosa sia composta.

Tutto iniziò intorno al 1932, quando l'astronomo olandese Jan Oort, studiando il movimento delle stelle appartenenti alla Via Lattea, si accorse che c'era qualcosa di strano. Alcune di esse attraversavano il piano galattico a una velocità molto più elevata di quanto si potesse prevedere con i calcoli fatti in base alla materia visibile circostante.

Gli ingredienti del cosmo
La "torta" dell'universo secondo l'ultima "ricetta" dei fisici.

Energia del vuoto (65%)
Materia oscura (30%)
Idrogeno ed elio (4%)
Stelle e galassie (0,5%)
Neutrini (0,3%)
Elementi pesanti (0,03%)

Nota: il totale non fa esattamente 100 a causa degli arrotondamenti.

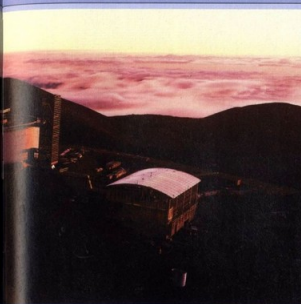
Infatti, sono le masse degli oggetti a determinare il movimento dei corpi celesti. E maggiore è la massa che "tira", maggiore è la velocità dell'oggetto tirato, stelle comprese. Ma questo è solo il principio della storia.

Una questione di massa mancante

«Non più di un anno dopo» racconta Alberto Cappi, astronomo all'Osservatorio di Bologna «Fritz Zwicky si accorse che un fenomeno simile si riscontrava anche negli ammassi di galassie. In quel periodo il suo lavoro consisteva nel confrontare la massa che si ricavava dal numero di galassie visibili con quella che invece si poteva dedurre dalle velocità con cui queste si muovevano all'interno dell'ammasso. E qualcosa non tornava. Ma allora nessuno si preoccupò molto di questa discrepanza».

La questione di ciò che a quel tempo veniva detta "massa mancante" riemerse negli anni Settanta, quando l'astronoma americana Vera Rubin si mise a studiare le curve di rotazione delle galassie a spirale. In pratica, misurava la velocità con cui le stelle orbitavano attorno al centro galattico all'aumentare della distanza da esso. Anche in questo caso, le velocità delle stelle erano superiori a quelle previste.

Addirittura, la massa "nascosta" sembrava essere dieci volte superiore a quella visibile sotto forma di stelle, nubi di gas e altra materia luminosa. «Oggi» dice Vera Rubin «preferiamo chiamarla "materia oscura", piuttosto che massa mancante, perché è la luce, non la materia, che manca».

«In anni più recenti» aggiunge Alberto Cappi «ci si è accorti di un altro fatto molto importante. Osservazioni accurate della radiazione cosmica di fondo, cioè "l'eco" del Big Bang che ancora oggi possiamo rilevare alla frequenza delle microonde, hanno mostrato che essa ha delle lievi disomogeneità, delle "increspature", che tuttavia non si discostano più di una parte su centomila dal valore medio. È proprio attorno a queste disomogeneità, queste fluttuazioni di densità, che crediamo abbiano iniziato a formarsi le galassie. Il problema è che, se la massa dell'universo fosse solo quella che vediamo sotto forma di materia luminosa, i quasi 14 miliardi di anni trascorsi dal Big Bang non sarebbero stati sufficienti a formare le grandi strutture oggi visibili, come gli ammassi di galassie. Insomma, non ci sarebbe stato il tempo perché si formassero, a partire da quelle fluttuazioni così piccole».

Quindi, ancora, la quantità di materia nell'universo deve essere superiore a quella visibile con i telescopi.

Pianeti scagionati

Ecco allora la spiegazione, almeno in teoria: se la massa c'è ma non si vede, deve essere oscura, cioè non emettere luce o altra radiazione elettromagnetica. Ma allora, se non è materia normale, di che cosa si tratta?

Le teorie proposte sono così tante che ci si perde. «Quel che è certo» dice ancora Cappi «è che la materia oscura non è composta da oggetti fatti di materia comune, per esempio stelle di bassissima luminosità o pianeti.

Infatti le teorie sull'evoluzione dell'universo fissano un preciso limite massimo alla quantità di materia "normale" che può essersi formata nel Big Bang». È per questo che fisici e astrofisici hanno iniziato a invocare soluzioni diverse.

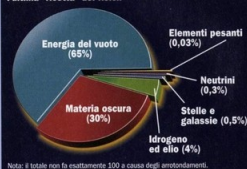
La prima in ordine di tempo chiamava in causa i neutrini, particelle prodotte nelle reazioni nucleari che avvengono all'interno delle stelle. ▶

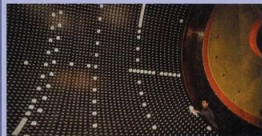
Il neutrino ha una massa?

I grandi rivelatori di neutrini nascosti sotto le montagne o sul fondo degli oceani hanno emesso il loro verdetto: il neutrino ha massa. Così, almeno, sostengono i fisici giapponesi dell'esperimento Super-Kamiokande, che nel 1998 hanno annunciato questo risultato.

Piccolissimi. La sua massa, tuttavia, sarebbe piccolissima, 20 o 30 mila volte inferiore a quella dell'elettrone, che pure tra le particelle non è un "peso massimo".

Numerosi. Ma è ugualmente un risultato molto significativo. I neutrini sono così numerosi (si calcola che, ogni secondo, ogni cm² di superficie terrestre venga attraversato da almeno 100 miliardi di neutrini) che messi tutti insieme contribuirebbero alla massa complessiva dell'universo in modo non trascurabile. Ma, anche con i neutrini "massicci", l'universo non conterrebbe abbastanza materia perché la sua espansione venga fermata. Tra gli esperimenti attualmente in corso, il più originale è quello che coinvolge il Cern di Ginevra e i laboratori del Gran Sasso. Un fascio di neutrini prodotto dagli acceleratori del Cern verrà sparato attraverso la Terra fino al Gran Sasso, percorrendo 730 km in 2,5 millesimi di secondo. Qui i neutrini verranno raccolti e studiati: le modificazioni subite nel viaggio daranno indicazioni sulla loro massa.

Gli effetti si notano
Mappa 3D della distribuzione della materia oscura (in rosso), fatta in base a come questa devia la luce (in giallo) di alcune galassie (celesti).

Però, fino a poco tempo fa, non si sapeva neppure se avessero una massa. Oggi gli esperimenti sembrano indicare di sì (v. riquadro nella pagina precedente), ma sarebbe così piccola da contribuire poco alla massa complessiva dell'universo.

Un'altra possibilità è quella che la materia oscura sia composta da particelle strane e mai osservate, dai nomi più esotici. Tra queste le "wimp" (weakly interacting massive particles, cioè particelle scarsamente interagenti con la materia ordinaria e quindi difficili da "catturare"), i fantomatici monopoli magnetici, assioni, gravitini, squark e via di questo passo. «Uno dei problemi principali riguardo queste particelle è che non solo nessuno le ha mai osservate, ma non si sa neanche prevedere quali siano esattamente le loro caratteristiche. Quindi non si sa bene che cosa cercare. In sostanza, delle tante ipotesi su ciò che compone la materia oscura, nessuna è convincente».

Al Cern di Ginevra (foto) enormi acceleratori di particelle sono in grado di produrre fasci di neutrini.

Aperto o chiuso?

Già questo, quindi, sarebbe un bel mistero: il 90 per cento dell'universo è composto da qualcosa che non si vede e non si sa cosa sia. Ma c'è un'altra, recentissima, questione, ancora più intrigante.

Secondo i cosmologi, il destino dell'universo è legato al valore di un parametro, indicato con la lettera greca Ω (omega) che a sua volta è legato alla densità della materia. Se Ω è minore di 1, la densità di materia non è sufficiente, con la sua forza di gravità, a fermare l'espansione attuale, e l'universo si espanderà per sempre (si parla allora di universo "aperto"). Se invece Ω è maggiore di 1, prima o poi l'espansione dell'universo si trasformerà in una contrazione, fino a che tutta la materia si ritroverà concentrata in un punto, pronta, forse, per un nuovo Big Bang (universo "chiuso"). Infine, un valore di Ω esattamente pari a 1 produrrebbe una situazione intermedia, in cui l'espansione continuerebbe all'infinito ma a velocità sempre più bassa, fino quasi a "congelarsi". «Secondo le osservazioni della radiazione di fondo effettuate con l'esperimento su pallone Boomerang» continua Cappi «sembra proprio che Ω sia uguale a 1. Ma questo significa che ci deve essere una quantità di materia sufficiente per produrre questo risultato. E, anche comprendendo la materia oscura, si arriva soltanto a circa un terzo della materia necessaria perché Ω risulti uguale a 1». Cosa significa? Che la materia, luminosa od oscura che sia, non è la componente principale dell'universo. Ma che cosa si nasconde allora in quei due terzi di "densità" di universo che non ha a che fare con la materia?

L'energia del vuoto

Gli indizi, anche questa volta, vanno cercati molto lontano. Per esempio nell'osservazione di remotissime supernovae. «Osservazioni di due gruppi distinti di ricercatori hanno portato allo stesso risultato: queste supernovae sembrano proprio mostrare che l'espansione dell'universo è accelerata. E questa accelerazione testimonia di una forza repulsiva che contribuisce con la sua densità di energia alla densità totale dell'universo». Non bisogna dimenticare, infatti, che materia ed energia, come ha dimostrato Einstein, sono equivalenti.

Questa componente "immateriale" dell'universo è riconducibile alla cosiddetta "energia del vuoto".

Secondo la meccanica quantistica, infatti, il vuoto non è del tutto "vuoto": vi è immagazzinata dell'energia. E questa energia ha un effetto repulsivo, cioè contrario a quello della gravità.

Sarebbe quindi l'energia del vuoto ad accelerare l'espansione dell'universo.

Particelle "esotiche"

Non solo: essa costituirebbe la componente principale dell'universo stesso (v. grafico alle pagine precedenti).

I progetti oggi in corso nel mondo per lo studio della materia oscura sono diversi, legati principalmente alla determinazione della distribuzione delle galassie a grande scala. Uno di questi è Virmos, a cui partecipa anche l'Osservatorio astronomico di Bologna. Un altro, che si svolge nei laboratori sotterranei del Gran Sasso, è Dama (dalle iniziali di Dark matter), ed è rivolto invece alla rivelazione di particelle "esotiche".

Che prospettive ci sono per chiarire il mistero della materia oscura nel prossimo futuro? «A mio parere» conclude Cappi «le osservazioni più importanti saranno quelle sulle supernovae lontane e sulla distribuzione delle galassie. Ma la chiave per la soluzione del problema non potrà arrivare che dal contributo dei fisici teorici. Dalle teorie di grande unificazione, delle stringhe, e così via, dovranno venire fuori gli indizi che permettano agli astronomi di lavorare sull'argomento meno al buio di come fanno ora». ❑

Alla materia oscura contribuiscono forse corpi situati nelle periferie delle galassie, detti nel complesso "machos" (dall'inglese "oggetti di alone massicci e compatti").

È possibile che un meteorite colpisca un aereo di linea?

Calcolare la probabilità di un evento del genere è molto difficile. Si deve infatti tenere conto di variabili come il numero di aerei di linea esistenti al mondo, la quantità di tempo che trascorrono in volo, le loro dimensioni, il numero di meteoriti che ogni giorno attraversano l'atmosfera terrestre, la loro velocità e tanti altri fattori difficilmente quantificabili.

Negli Stati Uniti hanno provato a farne una stima grossolana mettendo a confronto l'area totale occupata dalle automobili in circolazione con quella di tutti gli aerei di linea. È risultato che le possibilità che un aereo venga colpito da un meteorite sono 100 volte inferiori a quelle che lo stesso evento coinvolga un'auto. Considerando che negli ultimi 100 anni, negli Usa, risulta che solo 3 autovetture siano state colpite da meteoriti, si può affermare che il rischio di essere "abbattuti" in volo è sostanzialmente trascurabile. ❑

Protetti dall'atmosfera

L'ipotetico impatto di un meteorite con uno Space shuttle. Le probabilità che ciò accada sono più alte nello spazio che nell'atmosfera, dove volano gli aerei di linea.

COLLISIONI Perché i crateri meteoritici sono quasi sempre rotondi?

In effetti la traiettoria d'impatto di un meteorite è raramente perpendicolare al suolo. Tuttavia, la caduta di un asteroide è paragonabile allo scoppio di una bomba: il materiale sollevato dall'esplosione viene lanciato in tutte le direzioni, e questo fa sì che il cratere assuma una forma circolare. Il cratere può avere un diametro anche 100 volte superiore a quello dell'oggetto caduto, e nulla rimane della forma del corpo originario.

Radente. Ci sono però anche crateri allungati o ellittici. Si formano quando l'angolo di impatto del meteorite con la superficie di un pianeta o di un satellite è estremamente piccolo (non più di 4-5°). In questo caso l'oggetto striscia sul terreno prima di esplodere.

Il Meteor crater, in Arizona, fu prodotto 50 mila anni fa da un meteorite di circa 50 metri di diametro. È largo oltre 1 km.

Che cos'è l'effetto fionda gravitazionale?

Quando si deve inviare una sonda interplanetaria verso un corpo celeste molto lontano (per esempio Saturno) è necessaria una "spinta" molto grande e un'immensa quantità di propellente. Si può risparmiarne molto cercando di "rubare" energia a un altro corpo celeste lungo la strada e trasferendola alla sonda perché prosegua il proprio viaggio. È il principio della fionda gravitazionale, una sorta di "carambola cosmica".

Accelerata. In pratica, la sonda viene fatta avvicinare al pianeta "da derubare" secondo una traiettoria opportuna. Essa compie un tratto di orbita attorno al pianeta e ne esce "fiondata" dalla gravità del pianeta a una velocità diversa (in genere si fa in modo che sia maggiore) di quella iniziale.

Il guadagno di velocità dipende dalla geometria dell'incontro e dalle masse del pianeta e della sonda. La possibilità di sfruttare l'effetto fionda per le sonde fu messo in evidenza per la prima volta da uno scienziato italiano, Giuseppe Colombo. ❑

L'odissea del Voyager 2
La sonda Voyager 2 ha sfruttato l'effetto fionda per andare oltre Giove, sino a Nettuno.

In quanto tempo spariranno le impronte dell'uomo sulla Luna?

Le impronte di Edwin Aldrin.

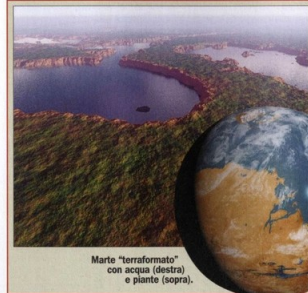
Non essendoci né vento né precipitazioni, a causa dell'atmosfera pressoché inesistente, sulla Luna non c'è erosione. Quindi le impronte lasciate dagli astronauti delle missioni Apollo tra il 1969 e il '72 sono in teoria eterne. In pratica, però, potrebbe influire il cosiddetto "giardinaggio del suolo lunare". Si tratta di una sorta di lento rimescolamento del suolo prodotto dal continuo bombardamento di corpi esterni, le cui dimensioni vanno da quelle delle particelle di polvere a quelle degli asteroidi. Gli scienziati hanno calcolato che, a causa di questo fenomeno, le orme potrebbero scomparire nel giro di un secolo.

Si può pesare una persona nello spazio?

In assenza di gravità, il concetto di peso perde di significato; ciò che si può misurare è la massa, la quantità fisica che esprime la quantità di materia e che non dipende dalla gravità. Quindi, dato che non si può usare una bilancia, per determinare la massa di un astronauta si deve utilizzare un trucco. Sul laboratorio orbitale Skylab, per esempio, l'astronauta si sedeva su una sedia libera di oscillare, grazie a un sistema di molle, attorno a un punto di equilibrio.

A cronometro. Le leggi della fisica affermano che la frequenza di oscillazione, in tale situazione, è proporzionale alla radice quadrata della massa che oscilla. Quindi, cronometrando il periodo di oscillazione della sedia, si poteva ricavare la massa dell'astronauta.

Tuta per astronauti in fase di sperimentazione. Solo la tuta pesa 23 kg.

Si potrà rendere abitabile Marte? E quali altri pianeti?

Marte "terraformato" con acqua (destra) e piante (sopra).

L'ipotesi di trasformare Marte in una seconda Terra, grazie a un lungo processo noto come "terraformazione", è futuribile ma al vaglio dei ricercatori. Si ipotizza di mettere a punto macchine che, poste sulla superficie di Marte, producano anidride carbonica. Dopo qualche decennio dalla loro entrata in funzione, l'effetto serra farebbe innalzare la temperatura del pianeta tanto da far evaporare anche l'anidride carbonica contenuta nel suolo. Questo innalzerebbe ulteriormente la temperatura, dando inizio allo scioglimento dei ghiacci e alla loro evaporazione, che intensificherebbe ulteriormente l'effetto serra.

In nessun altro luogo. A quel punto, ma saranno passati migliaia di anni, Marte avrà un'atmosfera simile a quella terrestre e ciò potrebbe permettere l'esistenza di forme di vita simili a quelle del nostro pianeta. Nessun altro corpo del sistema solare ha caratteristiche tali da poter ipotizzare trasformazioni che lo rendano abitabile nel giro di qualche migliaio di anni.

Come si misura la distanza di stelle e galassie?

Il metodo più importante è quello della parallasse stellare (v. disegno sotto). Consiste nel misurare lo spostamento apparente di una stella rispetto a uno sfondo di stelle più lontane. Il principio è lo stesso di quando si gira in auto attorno a una piazza con una statua nel mezzo: sembra che la statua si sposti sullo sfondo delle case. Allo stesso modo, una stella relativamente vicina sembra spostarsi a causa del moto della Terra attorno al Sole. Dall'entità dello spostamento è possibile risalire, geometricamente, alla distanza della stella. Questo metodo consente di misurare distanze massime di qualche centinaio di anni luce. Volendo spingersi oltre, è necessario conoscere la luminosità assoluta dell'oggetto celeste. Poiché l'intensità di una sorgente luminosa è inversamente proporzionale al quadrato della distanza (cioè se quest'ultima raddoppia la luminosità diventa un quarto, se decuplica diventa un centesimo ecc.) la misura della luminosità apparente dell'oggetto permette di risalire alla sua distanza. Per distanze ancor più grandi, si sfrutta il moto di espansione dell'universo. La velocità con cui una galassia si allontana da noi è infatti proporzionale alla sua distanza.

Quali differenze noteremmo se la Terra girasse al contrario?

La differenza più evidente sarebbe che il Sole si muoverebbe nel cielo al contrario: sorgerebbe a occidente e tramonterebbe a oriente. Ma la conseguenza più rilevante sarebbe l'inversione del moto dei vortici ciclonici, per cui sull'Europa le perturbazioni andrebbero da est verso ovest, e delle correnti oceaniche, che modificherebbe il clima di vaste aree.

Anno lungo. Infine, il giorno durerebbe 8 minuti in meno e l'anno 2 giorni in più. Questo perché i moti di rotazione e di rivoluzione, che oggi seguono lo stesso verso antiorario, si "disaccoppierebbero". Quindi il giorno solare (quello di 24 ore, riferito al Sole e che usiamo come misura del tempo) durerebbe 4 minuti in meno (e non 4 in più come ora) del giorno siderale (quello riferito alle stelle lontane, che dura 23 ore e 56 minuti). Essendo il giorno più corto, ce ne vorrebbero 2 in più per completare un anno.

E se l'orbita terrestre fosse circolare?

In questo caso le differenze sarebbero di scarsa portata. L'ellitticità dell'orbita terrestre, essendo molto piccola, ha un'influenza solo marginale sull'avvicendarsi delle stagioni. Se l'orbita fosse perfettamente circolare le stagioni avrebbero tutte la stessa durata, e nell'emisfero boreale l'inverno sarebbe lievemente più freddo e l'estate più calda. Viceversa in quello australe.

E se gli altri pianeti non esistessero?

Quasi non ce ne accorgeremmo. L'influenza gravitazionale dei pianeti del sistema solare sulla Terra, infatti, è trascurabile. L'unico aspetto negativo sarebbe la loro assenza in cielo, che toglierebbe il piacere di osservarli. E probabilmente Keplero (1571-1630) non sarebbe stato in grado di ricavare le sue leggi sul moto dei corpi celesti. ❑

In balia dei venti
Nell'Atlantico del nord i venti soffierebbero da oriente, causando sul Marocco e sulla penisola iberica violenti uragani. Come oggi accade ai Caraibi.

Le correnti oceaniche girerebbero in senso antiorario.

Sardine del Brasile
Le acque della costa orientale del Sud America sarebbero più fredde, ma anche molto più pescose.

Deserti lussureggianti
Il Sahara non sarebbe un arido deserto. L'aria calda e umida dell'Atlantico porterebbe sul Nord Africa abbondanti piogge.

1 Istante iniziale
Supponiamo che, in un certo istante, A e B siano i punti di confine tra notte e giorno.

2 23 ore e 56 minuti dopo...
La Terra ha compiuto una rotazione completa su se stessa. Che accade? Dipende dal verso di rotazione.

COME È
COME SAREBBE
ORBITA
A
B

Verso attuale 3a
Il punto A è ancora in ombra perché nel frattempo la Terra si è spostata un poco lungo l'orbita. Tra 4 minuti arriverà al confine giorno-notte.

Verso contrario 3b
Il punto B si trova già al sole da 4 minuti. Quindi il giorno durerebbe 23 ore e 52 minuti, cioè 8 minuti meno di adesso.

In questa rielaborazione, l'onda d'urto prodotta dall'esplosione della supernova 1987A, nella Grande Nube di Magellano. Le stelle più grandi terminano così la loro vita.

Stella in estinzione
La nebulosa planetaria Helix: è chiamata così perché in passato era stata scambiata per un pianeta. In realtà è una stella morente, circondata da nubi di gas.

Gigante celeste
A destra, R Doradi è una delle stelle più grandi: ben 370 volte maggiore del Sole. Qui accanto, la nebulosa che la ospita.

Quante sono le stelle? E quanti generi ce ne sono?

Ne esistono circa 200 mila miliardi di miliardi. Gli scienziati le hanno classificate per colore, dimensioni, temperatura, luminosità apparente.

C'è chi le ha contate una per una: le stelle visibili a occhio nudo dalla superficie terrestre sono esattamente 5.780, anche se dal nostro emisfero se ne può osservare solo la metà. Di stelle, però, ce ne sono nell'universo molte di più. Soltanto la nostra galassia, la Via Lattea, ne conta 200 miliardi. Osservandole da lontano abbiamo imparato molto sul loro conto, e molto continuiamo a imparare ancor oggi. Tra le ultime novità, la scoperta di un'enorme stella-mammut e di un'altra sconvolta da terremoti perenni.

Alcuni astronomi dell'Ucla, l'Università della California, utilizzando il telescopio spaziale Hubble, hanno identificato quella che potrebbe essere la più luminosa stella conosciuta: ha un'emissione pari a circa 10 milioni di volte quella del nostro Sole ed è grande al punto che se si trovasse al centro del sistema solare si estenderebbe fino all'orbita della Terra.

In soli 6 secondi emette tanta energia quanta il Sole in un anno. Don Figer dell'Ucla: «Questa stella-mammut si formò circa 3 milioni di anni fa e dovrebbe pesare quanto 250 soli».

Il record di luminosità

Nonostante la sua luminosità record, nessuno l'aveva mai notata perché si trova al centro di dense nubi di gas e polveri: Hubble l'ha localizzata solo grazie alle sue emissioni nell'infrarosso.

La Pistol Star, così chiamata per la forma della nebulosa che la circonda, si trova a 25 mila anni luce dalla Terra, vicino al centro della Via Lattea. Non è impossibile, dunque, che le stelle-mammut siano più frequenti di quel che si credeva.

Come trottole con il freno

Era un mistero: ora, grazie a Lucia Franco dell'Università di Chicago (Stati Uniti), è stato svelato. Da tempo si osservava che alcune stelle di neutroni mostrano uno strano comportamento: talvolta rallentano di colpo, apparentemente senza motivo, la loro rotazione.

Il fenomeno è detto "glitch". La ricerca di Franco ha trovato una risposta sorprendente: la causa del fenomeno sarebbero violenti terremoti superficiali.

Che hanno fatto dare alla stella il nome di *starquake*, da *star*, stella, e *earthquake*, terremoto. In alcuni casi, quando le stelle a neutroni ruotano velocemente su se stesse (circa una rotazione al secondo), si può formare una fascia continua di grani di materia più densa che, come cuscinetti lubrificanti, permettono alle due parti in contatto di slittare, dando origine a un terremoto, come avviene sulla Terra in prossimità di una faglia. Simili fenomeni portano alla formazione di "montagne" non più alte della punta di una matita, ma così dense che la loro gravità provoca i rallentamenti osservati.

La Pistol Star e la starqua- ▶

Il classificatore
Il religioso italiano Angelo Secchi: introdusse il primo sistema di classificazione stellare.

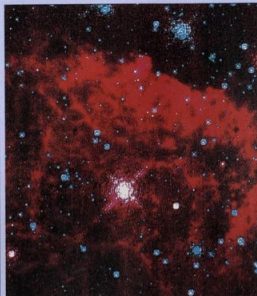



Immagine all'infrarosso della Pistol Star. È luminosissima ma la polvere interstellare blocca la luce visibile.

Le chiamavano "nebulose"

Sino all'inizio del 1800 tutto ciò che non era evidentemente una stella era classificato come "nebulosa". Questo creò molta confusione tra gli astronomi.

Cieli nebulosi. L'inglese William Herschel, dopo averne individuate quasi 2.400 (prima se ne conoscevano solo 103), capì che esistevano vari tipi di nebulose, alcune delle quali (da lui chiamate macchiettate) erano raggruppamenti di stelle. Con telescopi più potenti si riuscì poi a classificare tutte le ex nebulose in cinque categorie.

1) Galassie, gruppi di centinaia di miliardi di stelle.
2) Ammassi aperti, aggregati di stelle privi di forma particolare.
3) Ammassi globulari, sistemi simmetrici che possono contenere fino a un milione di stelle, fortemente concentrate verso il centro.
4) Nebulose gassose, addensamenti di gas e polvere da cui spesso prendono vita nuove stelle.
5) Nebulose planetarie, piccole stelle calde circondate da gusci di gas rarefatto, con un aspetto che al telescopio ricorda quello dei pianeti più lontani.

L'astronomo inglese William Herschel.

▶ke sono due esempi di oggetti celesti molto rari, che danno un'idea, tuttavia, della varietà dei corpi celesti che possono ricadere sotto il medesimo nome: stella.

Una definizione di stella, comunque, si può dare: un globo costituito, per gran parte della sua vita, da idrogeno, elio e pochi altri elementi, tutti in forma di plasma (un miscuglio di nuclei ed elettroni). Il plasma è tenuto in equilibrio da due forze: la gravità che lo attira verso il centro, e l'energia prodotta dalle reazioni nucleari, che lo spinge verso l'esterno.

La sorgente energetica si trova nel nucleo della stella, dove milioni di tonnellate d'idrogeno subiscono una reazione chiamata fusione, trasformandosi in elio. La differenza di massa tra i nuclei genitori e quelli risultanti dalla fusione produce energia in base alla formula $E = mc^2$.

Le classificò un italiano

Il primo tentativo di classificare le stelle venne compiuto da Angelo Secchi attorno al 1865, ma il suo sistema fu sostituito nel 1890 da quello elaborato a Harvard, negli Stati Uniti. In origine si era progettato di disporre i tipi di stelle in una sequenza alfabetica a seconda della forma dei loro "spettri": ogni stella emette infatti luce di tutte le lunghezze d'onda... ma con alcuni "buchi", che variano da stella a stella. L'insieme delle lunghezze d'onda presenti e mancanti forma lo spettro della stella.

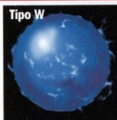
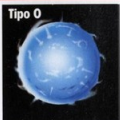
Ben presto, però, ci si rese conto che gli spettri sono lo specchio delle temperature stellari superficiali e dunque si preferì puntare a una classificazione che tenesse conto di questo parametro.

Per non perdere le classificazioni già fatte si introdusse un espediente mnemonico che permise di mettere in ordine le stelle dalle più calde alle più fredde.

Nacque così la seguente frase: "Wow! Oh! Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now Sweetie" (Uau! Oh! Sii una gentile ragazza, baciami subito dolcezza), dove a ogni iniziale corrisponde un particolare gruppo di stelle con una certa temperatura (vedere i disegni sotto).

A queste lettere si aggiunsero in seguito la P per le nebulose gassose e la Q per le novae. ❑

In ordine di temperatura

Le stelle sono classificate in base alla loro temperatura superficiale, che può andare da 2 mila a 100 mila gradi centigradi.
È la temperatura a determinare anche il colore della stella, che va dall'azzurro, al bianco, al giallo, al rosso.

Sono circondate da strati di gas in espansione.

Giganti azzurre: hanno una temperatura di 40.000 °C.

Temperatura compresa tra 10.000 e 30.000 °C.

Quante famiglie di stelle esistono?

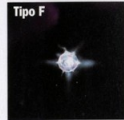
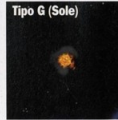
Il diagramma di Hertzsprung-Russell con la posizione delle diverse classi di stelle.

Il diagramma qui accanto fu ideato nel 1911 da Enjar Hertzsprung e, indipendentemente, nel 1913 da Henry Russell.

Luce e calore. Nel diagramma H-R, ogni stella è ordinata a seconda della magnitudine assoluta (la sua luminosità intrinseca) e della temperatura superficiale. La maggior parte delle stelle si dispone lungo una linea che attraversa diagonalmente il diagramma, chiamata "sequenza principale". In alto a sinistra vi sono le stelle caldissime di tipo O e B, in basso a destra trovano posto le nane fredde del tipo M.

Le eccezioni. In alto a destra ci sono stelle giganti e supergiganti "fredde" (intorno ai 3.000 °C) ma molto luminose: la loro grande superficie irradia più energia. In basso a sinistra, si trovano stelle bianche molto calde, ma piccole e quindi poco luminose.

Captano il vento solare
I 4 satelliti europei Cluster: studiano il vento solare, cioè le emissioni della nostra stella.

Sono circa 3 volte più grandi del Sole.

Di colore bianco, si aggirano sui 7.000 °C.

Stelle gialle, circa 5.000 °C in superficie.

Ancora più fredde: possono essere nane o giganti rosse. ▶

Come nasce (e muore) una stella?

La durata di un astro e il suo destino finale sono ineluttabili: li stabilisce la massa iniziale.

La nascita di una stella prende avvio quando si raccoglie in una stessa zona una nube di idrogeno e polvere abbastanza densa da collassare su se stessa per effetto della forza di gravità. Si pensa che l'addensamento della nube sia avviato dall'esplosione di una vecchia stella (supernova) che genera onde d'urto abbastanza intense da innescare il fenomeno. Al telescopio si possono osservare vari eventi di questo tipo in corso, e c'è una "culla stellare" visibile anche a occhio nudo: la nebulosa di Orione. Quando una nebulosa collassa, la massa che va concentrandosi cresce via via nel tempo, perché attira altra materia dalle zone circostanti. Il collasso procede di pari passo con la rotazione del gas. Dopo alcune centinaia di migliaia di anni di contrazione, l'addensamento della materia sprigiona energia che si trasforma in calore, mentre aumentano pressione, densità e temperatura. Ora l'astro splende di un colore rossastro: si tratta di una protostella. È molto grossa e l'energia è diffusa su tutta la superficie, perciò è relativamente fredda (circa 3.400 gradi centigradi). Nel nucleo, invece, la temperatura arriva già a qualche milione di gradi e la rotazione diventa così veloce che la forma globulare si appiattisce. Nel frattempo dai due poli viene espulsa materia.

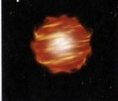
Le stelle giovani sono le più difficili da osservare perché avvolte da una nube di polvere scura che può essere perforata solo da telescopi a raggi infrarossi.

Le più grosse muoiono prima

Per conoscere la futura evoluzione della stella, bisogna ora misurarne la massa. Se ha un valore inferiore al 10% rispetto al Sole, il nucleo non diverrà mai così caldo da innescare reazioni nucleari, e la protostella resterà tale. Se Giove, per esempio, avesse avuto una massa superiore del 60-80%, la temperatura del nucleo sarebbe salita al punto da innescare la fusione dell'idrogeno e la Terra avrebbe avuto due soli. Se la protostella ha una massa del 10% o più rispetto al Sole, continuerà a collassare per la fortissima attrazione gravitazionale. Raggiunti i 10 milioni di gradi, prende avvio la fusione degli atomi di idrogeno in elio: la protostella diventa una vera stella, e un vento di particelle generate dalle reazioni nucleari comincia a soffiare verso lo spazio, spazzando via l'involucro di polvere che circondava l'astro e rendendolo visibile. È il momento in cui la stella entra nel diagramma di H-R (v. pagine precedenti), sulla sequenza principale. All'astro tocca ora un lungo periodo di tranquillità, che rappresenta circa il 90% della sua vita e la cui durata è legata sempre alla massa. Per il Sole, per esempio, si prevede una permanenza nella sequenza principale di circa 8-9 miliardi di anni. Se la stella ha una massa che va da un decimo a 4 volte quella del Sole, il gas di cui è composta non si rimescola, come avviene, per esempio, in una pentola d'acqua messa a bollire sul fuoco. Così quando l'idrogeno nel nucleo si è tutto trasformato in elio, non viene rimpiazzato dall'idrogeno de- ▶

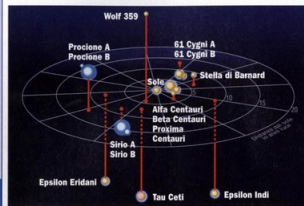
La loro massa è un terzo di quella solare.

Stelle di temperatura inferiore ai 3.000 °C.

Con le R, vengono anche dette "stelle di carbonio".

Le stelle degli ultimi tipi sono anche le più rare.

Che cosa sono le stelle doppie, triple, multiple?

A quanto pare il Sole non è un caso tipico: la maggior parte delle stelle non sono infatti solitarie come la nostra, ma legate a una o più compagne. Nel caso del sistema di Alfa Centauri, che si trova a circa 4 anni luce da noi, le due stelle principali (Alfa e Beta) girano l'una attorno all'altra con un periodo di circa 80 anni seguendo un'orbita fortemente ellittica. Intorno alla coppia ruota una nana rossa chiamata Proxima. La formazione dei sistemi binari segue due strade. Il caso più ovvio è il "parto gemellare": le due stelle nascono nella stessa nube, ma in essa sono presenti due regioni a densità più elevata da cui si addensano le due protostelle.
In altri casi la formazione del sistema binario o multiplo sarebbe la conseguenza dell'incontro ravvicinato tra due stelle formatesi in tempi e in luoghi diversi, nel quale una delle due cattura gravitazionalmente l'altra. È un meccanismo più raro del precedente perché può avvenire soltanto in zone molto affollate di stelle, e la velocità delle due future compagne deve essere comunque bassa perché la cattura gravitazionale possa avvenire. In caso contrario, le due stelle cambierebbero soltanto direzione.

Wolf 359
Procione A
Procione B
61 Cygni A
61 Cygni B
Stella di Barnard
Sole
Alfa Centauri
Beta Centauri
Proxima Centauri
Sirio A
Sirio B
Epsilon Eridani
Tau Ceti
Epsilon Indi
Distanza dal Sole in anni luce

La nostra periferia
Alcuni dei sistemi stellari prossimi al Sole: abbondano quelli multipli.

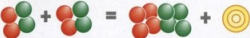
UN MOTORE NUCLEARE, CHE VA A IDROGENO

Sono molte le reazioni di fusione nucleare che alimentano le stelle. Qui sotto sono descritte, molto schematicamente, soltanto quelle più semplici.

Due protoni (rossi) danno deuterio più un positrone più energia.

Deuterio più idrogeno dà elio più energia (in verde, i neutroni).

Due ioni di elio-3 si fondono in elio-4 più due protoni.

Due ioni di elio-4 formano berillio, più raggi gamma.

▶gli strati più esterni della stella. L'elio che si forma nel nucleo si contrae e questo genera notevoli mutamenti nella struttura stellare. Il più appariscente è l'espansione degli strati esterni dovuta all'aumento della temperatura del nucleo. Contemporaneamente, la temperatura esterna diminuisce (perché il calore si distribuisce su una superficie più ampia) e scende a circa 3.000 °C.

La stella diventa una gigante rossa. Quando il nostro Sole raggiungerà questa fase si espanderà al punto da inghiottire Mercurio e Venere. Il nucleo di elio continua a contrarsi, perché non più sostenuto da reazioni nucleari, sino a diventare non più grande della Terra. In esso, la densità raggiunge valori tali che un centimetro cubo pesa una tonnellata.

E adesso tocca all'elio

Quando, per l'aumento di densità, la temperatura tocca i 100 milioni di gradi, l'elio inizia, in modo esplosivo, a fondere, un evento chiamato "helium flash". La fusione dell'elio produce ora carbonio, mentre nelle parti esterne brucia l'idrogeno rimasto. Più in là nel tempo, se la stella è abbastanza massiccia, anche il carbonio inizia a fondere con un secondo evento esplosivo. In ogni caso, questi stadi terminali sono accompagnati da una perdita di massa dalla superficie della stella, che può avvenire in più tappe o in una sola. Durante queste fasi gli strati esterni della stella vengono eiettati come una grande bolla: nascono così le nebulose planetarie (la più nota è M57, nella costellazione della Lira). Se la perdita di materia fa sì che la stella scenda sotto il limite di 1,4 masse solari, il collasso dell'astro si arresta e l'ultima fase della vita stellare è quella di nana bianca. Questo tipo di stelle ha una temperatura dell'ordine dei 100 mila gradi, ma una scarsa luminosità a causa delle piccole dimensioni (è grande all'incirca quanto la Terra).

Le giganti esplodono

L'ultima fase è un lento spegnimento, che si prolunga per decine di miliardi di anni. Per una stella più grande di 5 masse solari, le fasi di contrazione ed espansione si ripetono più volte, perché quando il combustibile nucleare è prossimo a esaurirsi, la stella subisce una nuova contrazione che provoca un più intenso riscaldamento del suo nucleo.

Questo dà il via a nuove reazioni di fusione degli elementi formatisi in precedenza. Una catena di eventi che dipende, ancora una volta, dalla massa iniziale della stella. Nelle stelle con massa compresa tra 5 e 9 masse solari si arriva fino alla fusione del carbonio e dell'ossigeno. Se la stella ha una massa ancora superiore si producono e si fondono elementi sempre più pesanti, come il magnesio, il neon, lo zolfo e il silicio. Ma le ultime fasi evolutive sono così instabili che si innescano reazioni nucleari incontrollabili.

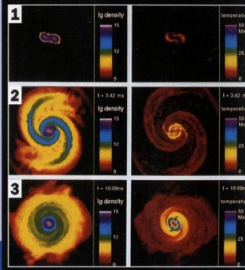
Il risultato è un'esplosione che dà vita a una supernova, una fase nella quale si possono produrre elementi ancor più pesanti, come l'oro. Si ritiene che gran parte degli elementi esistenti nell'universo si sia formata proprio così.

L'ultima esplosione distrugge completamente gli strati superficiali della stella, mentre il nucleo aumenta a dismisura la propria densità così che i protoni e gli elettroni si trasformano in neutroni. Il nocciolo di materia che rimane diventa una stella di neutroni che ruota vorticosamente su se stessa.

Oppure, se la massa di questa stella è superiore a 10 volte quella solare gli ultimi istanti sono ancor più catastrofici. La pressione gravitazionale è tale che la materia collassa completamente, dando origine all'ultimo e più esotico tipo di stella: il buco nero. ❑

Vista acutissima
Il telescopio spaziale Hubble. Ha scoperto tra l'altro nuove stelle.

Vortice di spazio-tempo

Simulazione del comportamento di due stelle di neutroni (oggetti di massa elevata). Si vedono a sinistra le variazioni di densità, a destra quelle di temperatura: la coppia (1) attira dall'esterno gas e polveri, che cominciano a vorticare (2), formando un caldissimo "disco di accrezione" (3), cioè accrescimento, che emette raggi X. In tale rotazione, come previsto da Einstein, è trascinato lo spazio-tempo.

Da dove vengono i buchi neri?

1 Le stelle del sistema binario GRO J165540.

2 La più grande (40 masse solari) esplode.

3 La materia espulsa "contamina" la compagna.

4 Ora c'è un buco nero che assorbe materia.

Stella contaminata
Ossigeno
Quantità osservata
Quantità attesa

5 Gli scienziati dell'Istituto astrofisico delle Canarie hanno ora scoperto un'inattesa quantità di ossigeno sulla stella superstite. È la prova che prima del buco nero c'è stata la supernova.

Come si fa a studiare le stelle?

Si possono analizzare soltanto guardando quanta energia emettono, come variano e come è composta la loro luce.

Quasi tutte le informazioni sulle stelle si ottengono studiando il loro spettro, cioè la scomposizione della radiazione luminosa che emettono (così come si scompongono le onde radio nelle varie frequenze, girando la manopola della sintonia).

Lo spettro luminoso si ottiene facendo passare la luce attraverso un prisma in modo da separare le diverse lunghezze d'onda. In tal caso il raggio dà vita a tutti i colori fondamentali. Quando però si analizza la luce di una stella, non si ottiene esattamente una banda continua con tutti i colori che sfumano l'uno nell'altro: in questa banda ci sono dei "buchi". Come mai? Perché la luce, dopo aver lasciato la superficie dell'astro, attraversa la sua atmosfera. In questa fase, alcune lunghezze d'onda vengono in parte assorbite dagli elementi chimici presenti al suo interno.

Studiando quindi i "buchi" nella luce di una stella se ne scopre addirittura la composizione chimica.

Le stelle intermittenti

Un altro trucco per studiare gli astri a distanza è controllare le loro variazioni di luminosità. Tutte le stelle, infatti, prima o poi variano anche in modo considerevole la propria luminosità. Alcune lo fanno con tale regolarità da prendere il nome di stelle variabili.

Ce ne sono di vari tipi. Tra le più note vi sono le Cefeidi: stelle supergiganti con variazioni di luminosità regolarissime, con un periodo che va da poche ore a 100 giorni. Nella nostra galassia ne sono state osservate più di 400 e almeno mille sono state identificate nelle Nubi di Magellano, due galassie vicine alla nostra. La pulsazione è legata a improvvise variazioni di temperatura che partendo dal cuore della stella, a causa di una contrazione del nucleo, vanno a interessare la superficie. Sono stelle, si è scoperto, sul punto di diventare giganti rosse.

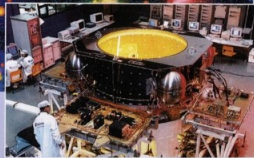
Ma la loro importanza è un'altra: servono a misurare la distanza delle galassie vicine. Infatti, essendo il loro periodo di pulsazione legato alla luminosità assoluta, misurando il periodo di una Cefeide lontana se ne può calcolare la luminosità. È risalire, confrontando quest'ultima con la luminosità apparente, alla distanza.

Variabilità esplosiva

All'estremo del mondo delle variabili vi sono le supernovae. Quando esplodono, in pochi secondi emettono tanta energia quanta ne hanno prodotto nel corso dell'intera vita. E dall'analisi di queste emissioni (energia, neutrini e gas) si traggono ulteriori notizie sulla natura della stella.

Sono noti due casi: nel primo, dopo che tutti i possibili cicli di fusione nucleare sono stati percorsi, la pressione gravitazionale ha il sopravvento e la stella si contrae rapidamente, riscaldandosi. Il riscaldamento innesca poi la reazione esplosiva.

Nel secondo caso, una nana bianca risucchia gas da una compagna. La materia catturata cade sulla nana avviando reazioni nucleari incontrollabili, che portano alla distruzione di entrambe le stelle. ❑

Al centro della Via Lattea
Mappa del nucleo galattico (la luce al centro e Sagittarius A). In mezzo all'anello rosato, fatto di gas, si trova probabilmente un buco nero.

La costruzione di Integral, all'Alenia. È stato messo in orbita nel 2002 per studiare i raggi gamma emessi da nane bianche, stelle di neutroni e supernovae.

BUCHI NERI

Sono mai stati osservati?

I buchi neri sono corpi così densi che la loro forza di gravità impedisce a qualunque oggetto (luce compresa) di sfuggire. Fino al 2000, però, nessuno era riuscito a vedere della materia cadervi dentro.

Raggi X. Alcuni ricercatori del Goddard space flight center della Nasa hanno osservato del ferro cadere in un buco nero, che si trova nella galassia Ngc 3516 a 100 milioni di anni luce dalla Terra. Commenta l'astrofisico Paul Nandra: «Abbiamo osservato i raggi X emessi dal ferro che, riscaldato a milioni di gradi dall'immensa forza gravitazionale del buco nero, ruotava a mulinello poco prima di scomparire».

Collasso. I buchi neri, il cui nome è stato coniato nel 1967 dall'astrofisico americano John Wheeler, sono il prodotto finale dell'evoluzione di stelle grandi oltre 10 volte il Sole. In tal caso, infatti, dopo la fase di supernova, il collasso gravitazionale riduce l'astro a una sfera di poche centinaia di metri di diametro: il buco nero.

Li ha "inventati" lui
L'astrofisico statunitense John Wheeler, inventore del nome "buco nero".

Quanta materia del sistema solare fa parte del Sole?

Il Sole (in alto a destra) con i 9 pianeti e le lune in proporzione. La Terra (indicata dalla freccia) è tra i pianeti più piccoli.

Circa il 99% della gigantesca nube di polvere interstellare da cui ha avuto origine il nostro sistema solare costituisce il Sole, mentre il restante 1% ha formato nel corso di milioni di anni i nove pianeti, le loro lune e tutto il resto della materia che fa parte del sistema solare. La nube di gas che ha formato il sistema solare aveva con ogni probabilità la forma di un disco, ragione per cui, quando si sono formati i pianeti, le loro orbite erano circa sullo stesso piano. Inoltre tutti i pianeti orbitano nella stessa direzione.

Plutone, il diverso. C'è solo una eccezione, quella di Plutone, il pianeta più lontano dal Sole, che ha un'orbita spostata di 17° dal piano del sistema solare. Da qui le ipotesi fatte su questo pianeta: c'è chi sostiene che si è aggiunto dopo al sistema planetario, chi pensa sia una luna di Nettuno sfuggita all'orbita del pianeta e chi una sorta di cometa.

Quanto è grande l'universo?

La Via Lattea, la galassia in cui si trova la Terra, ha un raggio di circa 50 mila anni luce. L'universo visibile ha un raggio di circa 13-14 miliardi di anni luce: in altre parole, è quasi 300 mila volte la Via Lattea.

Tazza di tè. Se questa cioè fosse grande come una tazza da tè (circa 8 centrimetri), l'universo visibile sarebbe una sfera di circa 24 chilometri di diametro.

Che cos'è un "wormhole"?

Significa "galleria scavata da un verme" e indica i tunnel spazio-temporali che potrebbero collegare parti dell'universo distanti tra loro. Secondo il fisico William A. Hiscock «la teoria della relatività di Einstein descrive lo spazio-tempo come curvo».

Verme nella mela. «Così come un verme, scavando una galleria nella polpa di una mela, fa una strada minore che strisciando lungo la buccia, allo stesso modo un astronauta potrebbe usare un tunnel spazio-temporale per viaggiare in un istante nello spazio o nel tempo». Ma per ora i "wormhole" sono solo soluzioni matematiche alle equazioni di Einstein. «È molto improbabile che esistano wormhole abbastanza grandi da far passare astronavi, persone o anche atomi» continua Hiscock. «Sono più plausibili microtunnel, più piccoli di un protone».

La Luna piena influenza le nascite?

Sono numerose le credenze popolari che attribuiscono alla Luna il potere di influenzare eventi biologici come la semina, l'invecchiamento del vino, la crescita di capelli e peli e persino le nascite. Non esistono però prove della loro veridicità. Anzi, le poche indagini scientifiche che sono state fatte le smentiscono. Per esempio, il Cicap (Comitato italiano per il controllo delle affermazioni sul paranormale) ha preso in esame i giorni di nascita dei 1.100 bambini nati nel 1996 nel comune di Padova e ha accertato che non esistono variazioni statisticamente significative in relazione alle fasi lunari.

Crescente come la pancia. La credenza è tuttavia molto radicata anche tra il personale ospedaliero nei reparti di maternità. Si tratta probabilmente di un retaggio di superstizioni popolari che attribuivano un significato magico e simbolico alla Luna, legato al suo ciclico decrescere e crescere raggiungendo la pienezza di una sfera in modo simile allo sviluppo del grembo materno. Inoltre, il fatto di essere convinti che esista una connessione tra nascite e Luna piena fa sì che ci si ricordi più facilmente delle nascite associate al plenilunio.

Superficie lunare fotografata durante la missione Apollo 17 (1972). Si vede il Lunar vehicle.

È possibile che esistano altre forme di vita intelligente?

La maggior parte degli scienziati ritiene che le probabilità che in qualche altra parte del cosmo si sia sviluppata la vita siano incoraggianti. Ecco almeno 5 ragioni per crederlo: 1) negli ultimi anni sono stati individuati quasi 150 esopianeti, cioè pianeti al di fuori del sistema solare, il che fa pensare che l'universo sia pieno di corpi adatti a ospitare la vita; 2) sono state trovate, nel nucleo ghiacciato delle comete Halley e Hyakutake, molecole prebiotiche: avvalorano l'ipotesi che i mattoni della vita siano stati distribuiti nell'universo dalle comete; 3) la sonda Galileo ha trovato su una luna di Giove, Europa, condizioni favorevoli all'esistenza di batteri; 4) tracce di vita microscopica sembra siano state trovate su un meteorite di provenienza marziana; 5) infine pare che in passato vi fosse acqua liquida sulla superficie di Marte. E acqua significa la possibilità della presenza di materiali organici... ❑

Disegno di un esopianeta, parte di un sistema planetario fuori dal sistema solare. Uno di essi potrebbe ospitare la vita.

È vero che la Luna si sta allontanando dalla Terra?

Ogni cento anni il nostro satellite si allontana da noi di... due centimetri. Tra qualche centinaia di milioni di anni, quindi, la Luna nel cielo sarà indistinguibile dalle stelle.

Sì, la distanza tra la Luna e la Terra aumenta. Il fenomeno dipende paradossalmente dall'attrazione reciproca tra pianeta e satellite. Ecco, in maniera schematica, come questo accade.

1) L'attrazione esercitata dalla Luna sulla Terra provoca le maree. Il sollevamento delle masse d'acqua crea sulla superficie terrestre una protuberanza che, a sua volta, esercita una forza d'attrazione sulla Luna.

2) La Terra ruota intorno al proprio asse in un giorno, mentre la Luna ruota intorno alla Terra in quasi 28 giorni: a causa di questa differenza di velocità, la protuberanza che si è formata sulla Terra si trova sempre più "in avanti" rispetto alla Luna.

3) La forza di attrazione che la protuberanza esercita sulla Luna (rimasta indietro a causa della minore velocità di rivoluzione intorno alla Terra) tende a "trascinare" il satellite, costringendolo ad aumentare la velocità.

4) Per la legge di Keplero, a velocità maggiore corrisponde un'orbita maggiore, quindi l'orbita della Luna aumenta di dimensione. In pratica il nostro satellite si allontana.

Tuttavia non c'è da preoccuparsi: il rischio di perdere la Luna è molto remoto, perché la distanza aumenta di circa 2 cm ogni secolo. Ma tra 750 milioni di anni, chi ci sarà vedrà la Luna poco più grande di una stella.

Anche l'attrazione della Luna sulla protuberanza della Terra ha i suoi effetti, ma meno rilevanti, dato che la Luna è molto più piccola della Terra: rallenta la rotazione della Terra intorno al proprio asse. ❑

Nella foto, scattata dagli astronauti dell'Apollo 17, la Terra "sorge" dalla superficie della Luna.

A cosa è dovuta la "faccia" visibile su Marte?

Nel 1976 la sonda della Nasa Viking 1 al ritorno da Marte, riportò le immagini, stupefacenti, di una faccia che sembrava fosse stata disegnata sul terreno. Alcuni ritennero fosse stata creata da una civiltà extraterrestre. La risposta definitiva è arrivata nel 1998, quando la sonda Mars global surveyor ha sorvolato la regione e ha scattato tre foto a una risoluzione 10 volte superiore a quelle del 1976. L'esame delle fotografie ha permesso di concludere che la zona è formata da numerosi strati di materiale roccioso eroso in momenti successivi. La "faccia", quindi, sarebbe dovuta a un fenomeno molto simile a quello che ha portato alla formazione del Grand Canyon in Colorado (Usa).

A sinistra, la "faccia" fotografata dal Viking 1. A destra, la foto, più ravvicinata, fatta dal Mars global surveyor.

La partenza di un razzo fa bruciare la rampa di lancio?

No. Piattaforme di lancio e torri sono costruite in acciaio rinforzato con titanio e altri materiali molto resistenti all'onda d'urto e alle fiamme. In alcuni casi il calore viene scaricato in un pozzo di cemento armato sotto il getto dei motori e indirizzato in un canale di sfogo. La piattaforma dello shuttle ha un sistema di raffreddamento che entra in azione poco prima dell'accensione dei motori principali, erogando migliaia di litri d'acqua al minuto. Per ridurre il calore prodotto dai motori laterali, alcuni getti rovesciano sulla piattaforma quasi due milioni di litri d'acqua gelata in 30 secondi.

Lancio del Discovery da Cape Canaveral (Florida). La piattaforma ha le dimensioni di un campo da calcio.

Da dove viene l'acqua sulla Luna?

Non può trattarsi di un residuo dell'antico passato della Luna, poiché si pensa che il satellite fosse in origine troppo caldo per poter conservare acqua. Inoltre, circa due miliardi di anni fa, la Luna cambiò la sua posizione esponendo i poli alla luce del Sole, che avrebbe sciolto rapidamente il ghiaccio che vi si trova. L'acqua, dunque, deve essere arrivata dopo. L'ipotesi più probabile è che sia stata portata dalle comete.

Miliardi di tonnellate. Si calcola che, nei due miliardi di anni dal momento in cui la sua orbita si è stabilizzata, le comete potrebbero aver trasportato da 10 a 100 miliardi di tonnellate d'acqua sulla Luna. La maggior parte cadde in zone assolate e si dissolse nello spazio: oggi è probabilmente rimasto l'1% di quella quantità. Per avere un'idea delle dimensioni, si ipotizza che la quantità d'acqua sulla Luna equivalga a un lago di 600 km² profondo 10 metri.

Ghiaccio al Polo Nord

Foto colorata del Polo Nord lunare: nelle zone rosa e viola c'è più acqua.

CIELO Perché di notte è buio nonostante i miliardi di stelle?

L'ipotesi più accreditata per spiegare questo fenomeno si basa sul fatto che l'universo originato dal Big Bang non sia infinito. La sua struttura, ancora in espansione, sarebbe quella di una schiuma, nella quale le galassie e gli ammassi di galassie formano la pellicola esterna di immense bolle di vuoto. Secondo questa visione le stelle presenti nell'universo non sarebbero quindi sufficienti a illuminare la notte.

Su quali pianeti sarebbe possibile vivere?

Giove, Saturno, Urano e Nettuno vanno esclusi perché non hanno superficie solida. Venere ha un'atmosfera così pesante che schiaccerebbe un uomo come il guscio di un uovo. Sugli altri pianeti, come Marte, Mercurio, Plutone e le lune dei grossi pianeti, in teoria sarebbe possibile vivere ma l'uomo dovrebbe creare un'atmosfera respirabile. Sarebbe poi probabilmente necessario vivere sottoterra, per proteggersi dagli estremi sbalzi di temperatura e dalle pericolose radiazioni solari.

In Usa c'è davvero il corpo di un alieno?

Si tratta di una leggenda nata nel 1947, quando un pallone spia dell'aeronautica militare Usa cadde nei pressi di Roswell (New Mexico) e i giornali locali annunciarono la caduta di un disco volante. Anni dopo alcuni appassionati di ufologia cominciarono a raccontare che a Roswell era caduta un'astronave aliena con un equipaggio di extraterrestri (vivi secondo alcuni, morti secondo altri).
Filmato. Ci fu anche chi riuscì a vendere alle televisioni un filmato che mostrava l'autopsia realizzata nel '47 sul cadavere di uno degli alieni. Gli esperti patologi che hanno osservato il "documento", però, concordano sul fatto che chi esegue l'autopsia dimostra di non avere alcuna cognizione medica; inoltre vari indizi fanno ritenere che il filmato sia un falso realizzato di recente e che l'"alieno" sia solo un pupazzo creato da un esperto di effetti speciali.

Pupazzo bolognese
Il filmato dell'"autopsia" di Roswell è stato ricostruito a Bologna per dimostrarne la falsità (foto).

Non è un rischio cercare il contatto con gli alieni?

Data la relativamente giovane età della Terra, le civiltà sorte prima della nostra potrebbero essere migliaia. Dunque è improbabile incontrare alieni al nostro stesso livello. La natura di una civiltà più progredita di noi di milioni di anni forse ci apparirebbe divina. "La loro tecnologia" ha scritto lo scomparso astronomo Carl Sagan "sarebbe indistinguibile dalla magia".
Ci mangerebbero?
Insomma saremmo totalmente alla loro mercé. Nelle ipotesi peggiori potremmo essere occupati militarmente o resi schiavi. O persino mangiati. Se così fosse, per noi terrestri non ci sarebbero speranze.
Ma come la validità delle leggi della fisica si estende oltre la Terra, così potrebbe essere anche per le leggi fondamentali del comportamento sociale e individuale. Ed è difficile credere che una società capace di affrontare un viaggio interstellare non sia in grado di soddisfare pacificamente le proprie esigenze.

ACUSTICA Esiste il suono nello spazio interplanetario?

Sì. Il suono è dato dal moto vibratorio di particelle appartenenti a un gas, un liquido o un solido. Nello spazio, il mezzo interplanetario è dato da un gas molto diluito, la cui densità è di 10 atomi per cm³. La velocità del suono in questo mezzo è di circa 300 chilometri al secondo.
Non si sente. L'udito umano non può udire suoni prodotti in queste condizioni, ma sarebbe possibile individuare queste vibrazioni e trasformarle in suoni udibili comprimendole elettronicamente.

Ricordo preistorico
A prima vista sembra una foto impossibile, scattata magari nel Giurassico: si tratta, in realtà, di un gruppo di iguane marine alle isole Galápagos.

Quando si è formata la vita sulla Terra?

La testimonianza più antica di una forma di vita terrestre si annida in una roccia di 3 miliardi e 860 milioni di anni fa scoperta su una piccola isola al largo della Groenlandia.
Una serra cosmica?
Oggi quel reperto non possiede più alcuna caratteristica morfologica, ma secondo i ricercatori la sua struttura biochimica assomiglia a quella di tutte le altre forme di vita che si sono sviluppate da allora. Rimane da capire se la Terra fu la culla dell'organismo e dunque la vita terrestre prese avvio per proprio conto qualche decina di milioni di anni prima, o se il nostro pianeta può essere considerato una serra dove semi di vita provenienti dallo spazio poterono evolversi nelle forme di vita che oggi conosciamo. ❑

Che cosa c'è al centro della Terra?

Non essendovi un metodo diretto d'indagine, le ricerche si basano sull'analisi del comportamento delle onde sismiche prodotte dai terremoti, la cui diversa velocità di propagazione permette di risalire allo spessore e alla composizione degli strati interni che compongono il pianeta.
Bucce. Utilizzando i dati di 300 mila sismi avvenuti negli ultimi 30 anni, Miaki Ishii della Harvard University (Usa) ha scoperto che il nucleo terrestre è più complesso di quanto si ipotizzava. Oltre a quello esterno (liquido, che inizia a 2.900 km circa dalla superficie) e a quello interno (solido, a 5.150 km), dei quali si conosceva già l'esistenza e la composizione (ferro al 90%), il geofisico ha scoperto un nucleo ancora più interno e più denso, di 300 km di raggio, dove a causa dell'enorme pressione degli strati sovrastanti, il ferro assumerebbe una struttura ancora sconosciuta.
Nocciolo. Ma non è finita. Secondo il geofisico Marvin Herndon, esisterebbe infine un "supernucleo" di soli 8 km di diametro composto da uranio, che a causa del suo peso sarebbe precipitato verso il centro durante la formazione della Terra.

Come una cipolla
Uno spaccato della Terra. Secondo nuove teorie, il nucleo avrebbe altri 2 strati, il più interno dei quali di uranio.

IPOTESI ESTREME

Il nostro universo potrebbe essere solo una particella in un altro universo più grande?

A prima vista, poiché gli atomi sono simili a piccoli sistemi planetari, si potrebbe pensare che anche il sistema solare sia a sua volta un "atomo" di una struttura molto più grande. Ma a parte l'impossibilità di verificare concretamente una simile idea, sappiamo per certo che non si può assimilare il cosmo al mondo atomico. Le leggi fisiche che descrivono gli atomi e i pianeti sono infatti molto differenti.
Mondi diversi. In primo luogo, mentre i pianeti che girano intorno al Sole hanno posizioni ben precise, questo non avviene per gli elettroni che orbitano attorno al nucleo atomico. Inoltre, mentre è possibile distinguere i pianeti l'uno dall'altro, particelle elementari dello stesso tipo sono del tutto indistinguibili tra loro.

Esiste un sistema per generare l'antigravità?

Un fenomeno simile esiste nel campo dell'elettromagnetismo, perché queste forze possono attrarre oppure respingere. I loro effetti quindi in alcuni casi si possono annullare a vicenda. Questo però non è al momento possibile con la forza di gravità, che attrae sempre.

Già un secolo fa lo scrittore Herbert G. Wells fantasticava dell'esistenza di un materiale, la cavorite, capace di cancellare la gravità al di sopra di esso.

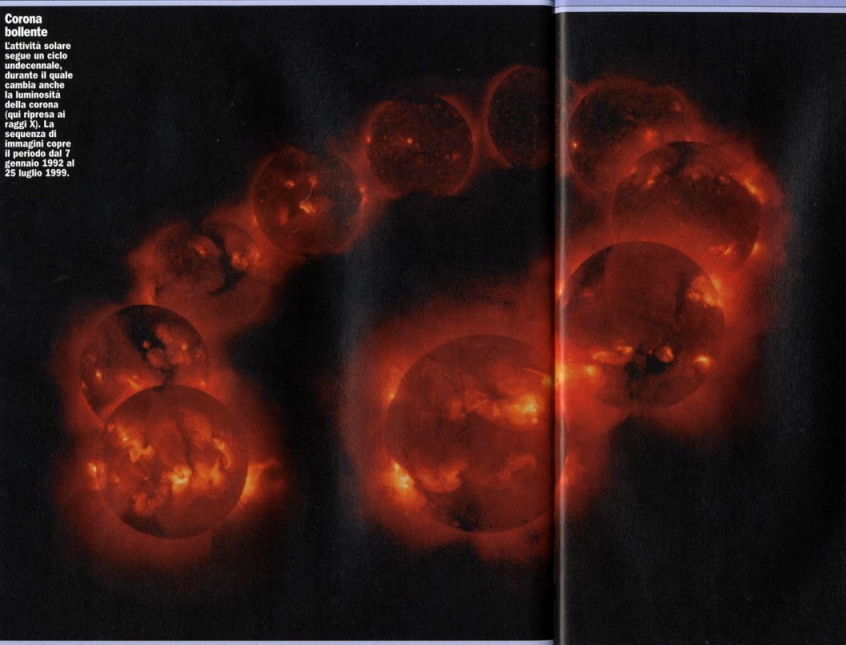
Strano? Sì, ma un fenomeno simile esiste nell'elettromagnetismo: per esempio una scatola metallica (chiamata "gabbia di Faraday") annulla il campo elettrico al suo interno.

Attrazione e repulsione. Ciò è possibile anche perché le forze elettromagnetiche possono essere attrattive o repulsive e quindi, in alcuni casi, i due effetti possono annullarsi.

Sorpresa. La gravità, invece, è sempre attrattiva, anche quella generata dall'antimateria. Negli ultimi anni, però, gli astrofisici si sono accorti che una misteriosa forza spinge l'universo a espandersi sempre più velocemente. Si pensa che questa "energia oscura" si trovi nello spazio vuoto e che sia prodotta da una particella non ancora identificata.

Se questa particella esistesse, la si potrebbe forse utilizzare per farne... cavorite. ❑

Su un pianeta di "cavorite", sperimentare l'antigravità sarebbe cosa di tutti i giorni. Ma è solo una fantasia dello scrittore H. G. Wells.

Corona bollente
L'attività solare segue un ciclo undecennale, durante il quale cambia anche la luminosità della corona (qui ripresa ai raggi X). La sequenza di immagini copre il periodo dal 7 gennaio 1992 al 25 luglio 1999.

Com'è fatto il Sole?

Una stella di media grandezza, uguale a tante altre, con un diametro 109 volte quello della Terra e una massa 330 mila volte più grande.

Nel momento in cui questo articolo veniva scritto, il Sole era in condizioni tranquille: non c'erano tempeste in atto e il vento solare aveva una densità di 3,5 protoni per centimetro cubo e una velocità di 412,1 chilometri al secondo.

Come facevamo a saperlo? Semplice, è bastato guardare il sito Internet delle previsioni del tempo spaziale, www.spaceweather.com. Il capriccio di qualche scienziato? Non proprio, visto che fra qualche anno tra i turisti spaziali potreste esserci anche voi. E quando sul Sole "fa brutto", lo fa sul serio: vortici magnetici larghi come l'intera Terra, terremoti - o meglio, solemoti - fino a 10 volte più ampi, esplosioni che riversano nello spazio miliardi di tonnellate di materia incandescente a velocità supersoniche.

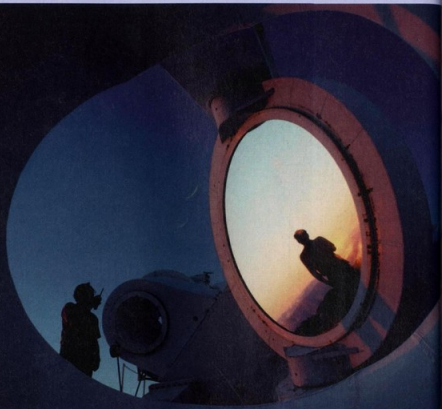
Il nostro Sole non è affatto una semplice sfera luminosa, ma una stella con una vita complessa e travagliata che si intensifica ogni 11 anni e fa sentire i suoi effetti sulla Terra. Qui appaiono meravigliose aurore boreali, ma anche black-out e interruzioni dei collegamenti telefonici. Adesso il Sole si è lasciato alle spalle un periodo di intensa attività.

Un cuore acceso

Tutto ciò nasce nel nucleo del Sole: «Una stella di media grandezza, uguale a tante altre delle centinaia di miliardi che popolano la Via Lattea (la nostra galassia)» spiega Cesare Guaita, chimico e presidente del Gruppo astrofili tradatese. «È composto per il 73% in peso da idrogeno, per il 25% da elio e per il restante 2% da elementi più pesanti come carbonio, azoto, ossigeno e ferro». Il suo diametro è di 1,4 milioni di chilometri, 109 volte quello della Terra, ▶

STELLA Che dimensioni deve avere?

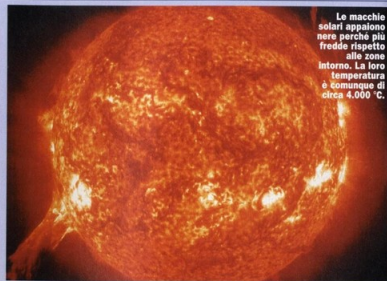
I calcoli degli astrofisici mostrano che una stella, per essere davvero tale, deve avere una massa minima pari a circa otto centesimi della massa del Sole.
Una delle più piccole stelle effettivamente osservate è Gliese 623B, situata a 25 anni luce da noi, che ha una massa pari a un decimo ed è 60 mila volte più debole della nostra stella. Se si trovasse alla distanza del Sole, apparirebbe solo 8 volte più luminosa della Luna.

Catturarne la luce
Il Sole si studia con telescopi speciali, come questo di Kitt Peak (Usa). La sua immagine viene riflessa da uno specchio in una stanza sotto terra, dove viene studiata.

▶ma la massa è ben 330 mila volte superiore. La sua densità media è simile a quella dell'acqua, ma è nel centro che confluisce tutta la pressione degli strati esterni - fino a 250 miliardi di atmosfere - e la densità supera di 10 volte quella del piombo, mentre la temperatura raggiunge i 15 milioni di gradi. Ciò innesca le reazioni nucleari di fusione che lo illuminano: una serie di processi il cui effetto finale è quello di trasformare 4 nuclei di idrogeno (cioè protoni) in un nucleo di elio, composto da 2 protoni e 2 neutroni.

Poiché un atomo di elio pesa un po' meno di 4 atomi di idrogeno, questa piccola differenza di peso (0,7%) si trasforma in energia secondo la legge di Einstein $E = mc^2$. In totale, ogni secondo, 4 milioni di tonnellate di materia si convertono così in pura energia, sotto forma di radiazione elettromagnetica molto penetrante: i raggi gamma. La potenza irraggiata è di 400 miliardi di miliardi di megawatt.

Se i raggi gamma ci raggiungessero direttamente, spazzerebbero via ogni forma di vita dalla Terra. Fortunatamente, però, essi vengono assorbiti e riemessi innumerevoli volte dagli strati di gas circostanti il nucleo solare prima di raggiungere, dopo un milione di anni circa, la superficie. Ma a questo punto, essi si sono indeboliti a tal punto da diventare luce visibile.

Una superficie a macchie

Nel percorso, i raggi attraversano prima una zona "radiativa", in cui il calore si propaga lentamente verso l'esterno in linea retta, e poi una zona "convettiva", dove il gas incandescente si muove formando una serie di vortici, proprio come fa l'acqua in una pentola sul fuoco. Ciò serve a scaldare fino a 6.000 °C la "fotosfera", lo strato superficiale spesso qualche centinaio di chilometri che è ciò che noi vediamo dalla Terra. Ma la fotosfera non è uniformemente illuminata: a ben guardare, si notano macchie più scure, le "macchie solari", già note a Galileo Galilei. Sono zone in cui il campo magnetico è particolarmente intenso (fino a 40 mila volte il campo magnetico terrestre) e la temperatura più bassa, 4.000 °C circa. Le macchie si intensificano ogni 11 anni, in corrispondenza dei periodi di massima attività del Sole. ▶

Le macchie solari appaiono nere perché più fredde rispetto alle zone intorno. La loro temperatura è comunque di circa 4.000 °C.

CHE EFFETTI HA SULLA TERRA?

In momenti di "tempeste solari", le radiazioni del nostro astro possono creare molti problemi, dai satelliti alle reti elettriche agli aeroplani.

La Terra è protetta dalle radiazioni solari dal suo campo magnetico. A volte, però, il vento solare è talmente intenso che le particelle riescono lo stesso a penetrare, danneggiando i satelliti e raggiungendo anche l'atmosfera, dove generano campi magnetici che disturbano le telecomunicazioni e possono provocare black-out.

Le dimensioni di una protuberanza solare in confronto alla Terra.

Elettronica
Le particelle più veloci possono danneggiare l'elettronica degli oltre 600 satelliti in orbita, rendendoli inutilizzabili.

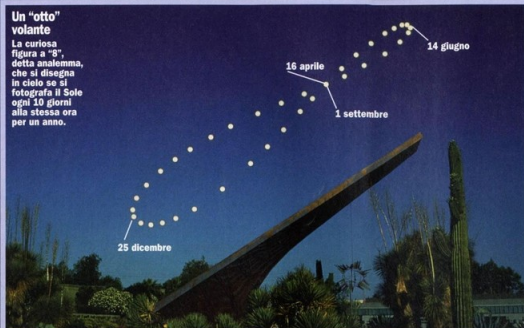
Reti elettriche
Alterato da una tempesta solare, il campo magnetico può provocare sovratensioni nelle linee, bruciando i trasformatori.

Comunicazioni
Il vento solare può rendere difficili (in alcuni casi impossibili) le telecomunicazioni sulla Terra e nello spazio.

Aeroplani
Trovarsi su un aereo in alta quota nel momento dell'arrivo di una tempesta solare è come sottoporsi a 3-4 radiografie.

Condutture
Correnti elettriche indotte accelerano la corrosione di oleodotti e gasdotti, e ne indeboliscono il metallo.

Satelliti
Le radiazioni solari intense riscaldano l'atmosfera, che si espande. Si crea un attrito che può alterare le orbite dei satelliti.

Un "otto" volante
La curiosa figura a "8", detta analemma, che si disegna in cielo se si fotografa il Sole ogni 10 giorni alla stessa ora per un anno.

Invisibile ma incandescente

All'esterno della fotosfera, c'è un sottile strato di transizione detto cromosfera e ancora più in là si estende la corona, una zona estremamente rarefatta, in cui la temperatura raggiunge i 2 milioni di gradi. Come ciò sia possibile è stato a lungo un mistero. Ma oggi, molte risposte ci giungono dai satelliti artificiali, tra cui soprattutto Soho, il Solar and Heliospheric Observatory, lanciato il 2 dicembre 1995 e in orbita stabile tra la Terra e il Sole. «Sembra che il riscaldamento della corona sia dovuto alla cancellazione di linee di campo magnetico di polarità opposta, che si incontrano e si neutralizzano, molto frequentemente, sopra la fotosfera» spiega Guaita. «È un processo paragonabile a un corto circuito». Nei punti in cui ciò avviene, infatti, il campo magnetico si annulla e la sua energia viene trasferita al gas sovrastante, producendo una sorta di scintilla.

Vento infuocato

Dalla corona nasce un flusso di particelle, per lo più protoni (cioè nuclei di idrogeno, ma sono presenti anche nuclei di altri elementi), che viaggia verso l'esterno a velocità supersoniche e prende il nome di "vento solare". Vi contribuiscono due componenti: una che nasce intorno all'equatore solare e viaggia a 400 km al secondo, l'altra che si origina vicino ai poli e ha una velocità doppia. Semplificando molto, questi due fasci si alternano nello spazio interplanetario a causa della rotazione del Sole, un po' come si alternano le regioni di luce e ombra intorno a un faro. Una volta superato anche Plutone, l'ultimo pianeta conosciuto, il vento solare raggiunge lo spazio interstellare e si mischia al vento delle altre stelle, passando attraverso una regione di confine chiamata "eliopausa" (la regione dominata dal vento solare è detta "eliosfera"). Le sonde Voyager, in viaggio dalla metà degli anni '70, dovrebbero superare questa zona estrema entro il prossimo decennio e inaugurare così una nuova stagione di esplorazioni interstellari.

Il mistero risolto dei neutrini solari

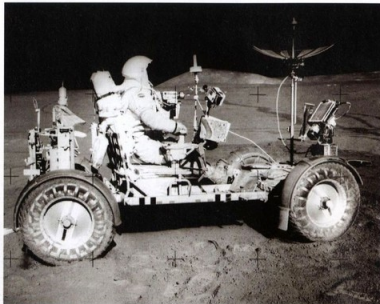
Le reazioni nucleari all'interno del Sole, secondo le teorie attuali, dovrebbero produrre una enorme quantità di particelle leggerissime e difficili da rilevare, i neutrini. La Terra sarebbe dunque investita da un flusso di circa 60 miliardi di neutrini per cm^2/s. In realtà, gli esperimenti dimostrano che di neutrini solari ne arrivano meno della metà di quanto previsto. Questo "mistero dei neutrini mancanti" è stato risolto da un gruppo di ricercatori del Sudbury neutrino observatory (Sno) dell'Ontario, in Canada. Confrontando i propri dati con quelli di un altro laboratorio situato in Giappone, il Super-Kamiokande, gli scienziati si sono accorti che, durante il viaggio, una parte dei neutrini solari (neutrini-elettronici) si trasforma in neutrini di altro tipo (neutrini-mu e neutrini-tau).

Fatto a strati
La struttura interna del Sole (sopra) è fatta a strati, via via più freddi. Il nucleo è a 15 milioni di °C, la fotosfera a 6.000.

Ma torniamo sul Sole per chiarire una questione lasciata in sospeso: perché l'attività si intensifica ogni 11 anni? «Il Sole assomiglia a una grande calamita che però non è fissa nello spazio, ma ruota facendo un giro completo ogni 22 anni circa» risponde Guaita. «Quando l'asse magnetico è parallelo all'asse di rotazione, ogni 11 anni, il Sole è relativamente tranquillo. Quando l'asse, invece, si avvicina all'equatore, l'attività solare aumenta». E che cos'è che fa ruotare il campo magnetico? «Il Sole è una sfera di gas che ruota più velocemente all'equatore che ai poli» continua Guaita «ed è questa "rotazione differenziata" a muovere l'asse magnetico». Quando l'asse attraversa l'equatore, nel Sole si creano forti tensioni interne che danno vita a fenomeni imprevedibili e tumultuosi: solemoti, vortici (macchie solari), improvvise e brillanti esplosioni ad altissima temperatura (brillamenti). O addirittura "coronal mass ejections", spettacolari emissioni di gas incandescente che si estendono per milioni di chilometri ed eruttano centinaia di miliardi di tonnellate di materia fino a velocità di 2.000 km al secondo. Se sono nella direzione giusta, questi getti raggiungono la Terra entro un paio di giorni, colpiscono i satelliti e generano tempeste "geomagnetiche". I passeggeri a bordo dei voli ad alta quota lungo le rotte polari rischiano così di ricevere elevate dosi di radiazioni. Ma ancora più esposti sono eventuali astronauti nello spazio: per loro, il rischio è mortale, e seguire le previsioni del tempo solare è una necessità assoluta. ❑

Com'è il campo magnetico solare?

I gas caldi della corona solare evidenziano l'andamento del campo magnetico: "sfilacciato" nei periodi attivi, come durante l'eclisse del giugno 2001 (foto grande), ben definito quando l'attività è minore (come nell'eclisse del febbraio 1998, nel riquadro).

La corona del Sole fotografata ai raggi ultravioletti.

Questa rover lunare si trova ancora oggi sulla Luna.

Che cos'è rimasto di umano sulla Luna?

Sono numerose le cose lasciate intenzionalmente dagli astronauti che l'hanno visitata: una placca commemorativa firmata da Richard Nixon, una bandiera americana, una Bibbia su microfilm. Altri oggetti, utilizzati sulla Luna, sono poi stati abbandonati là perché sarebbe stato poco pratico o economico riportarli sulla Terra: veicoli per gli spostamenti, parti di moduli lunari, zaini, macchine fotografiche, carriole e... impronte. Sì, anche le impronte lasciate dagli astronauti resteranno impresse sul terreno per migliaia o forse milioni di anni. Questo perché sulla Luna non c'è atmosfera e non ci sono venti che possano spazzarle velocemente via.

Perché l'aria non si disperde nello spazio?

L'atmosfera terrestre si sviluppò poco per volta. Gli scienziati ritengono che all'inizio vi fossero prevalentemente idrogeno ed elio. Ma questi gas, di natura leggera, riscaldati dai raggi solari raggiungevano la velocità necessaria per sfuggire all'attrazione gravitazionale terrestre, così gran parte di essi svanì nello spazio.

Gas pesanti. Oggi invece la nostra atmosfera è costituita per il 78% di azoto e per il 21% di ossigeno, con tracce di altri gas. Questi però sono molto più pesanti di quanto lo fossero l'elio e l'idrogeno. Così la gravità della Terra è in grado di trattenerli. Per "sfuggire", gli atomi di questi gas dovrebbero raggiungere la velocità di fuga di un razzo: almeno 11,2 chilometri al secondo.

Colori spaziali
Vista al tramonto dallo spazio, l'atmosfera terrestre è solo una sottile striscia azzurra.

Si può fare la doccia in orbita?

Il problema di una doccia in assenza di gravità, come si sta sperimentando qui, sono le gocce d'acqua che fluttuano libere.

Le gocce d'acqua, in assenza di gravità, circolerebbero liberamente per l'astronave, mettendo a rischio la delicata strumentazione.

Nello spazio ci si può lavare, naturalmente, ma l'esperienza è un po' diversa da quella terrestre. Gli astronauti, infatti, non si lavano con getti d'acqua diretti ma con spugne bagnate. Ciò perché, a causa della mancanza di peso, l'acqua potrebbe disperdersi per la navicella in un'infinità di gocce fluttuanti, pericolose sia per gli strumenti sia per l'equipaggio.

Per scongiurare rischi di questo tipo esiste un sistema di aspirazione dell'eventuale acqua di scarico.

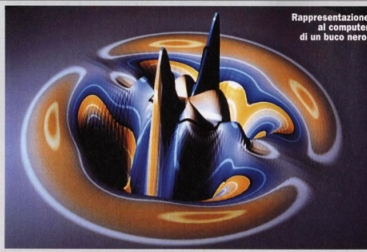
Acqua razionata. Per ragioni di risparmio, infine, la quantità d'acqua usata per lavarsi è di gran lunga inferiore a quella che si userebbe sulla Terra: per ogni "doccia" sono disponibili non più di 4 litri, contro il centinaio che si usano in media per una doccia... terrestre. ❑

Un'esplosione nello spazio: non fu certamente così il Big Bang, perché prima di lui non c'era uno "spazio" in cui propagarsi.

Quanto rumore fece il botto del Big Bang?

Il Big Bang, la "grande esplosione" che circa 14 miliardi di anni fa generò tutto l'universo visibile, non fece rumore, o quasi. Quando una bomba scoppia nell'aria si producono violente vibrazioni che percepiamo come uno scoppio. Il Big Bang, invece, fu un fenomeno del tutto diverso perché non avvenne in un punto dello spazio, ma generò esso stesso lo spazio. In altre parole, prima del Big Bang non c'era un luogo in cui il "botto" potesse propagarsi.
Onde acustiche. Ciò che successe, però, è che le minuscole oscillazioni del Big Bang presenti nei primissimi istanti, quando il cosmo era un gas omogeneo che occupava un volume più piccolo di un atomo, originarono l'equivalente di onde acustiche che fecero vibrare l'universo per circa 300 mila anni, producendo quelle fluttuazioni nella materia da cui nacquero le prime galassie.

Dallo scontro di 2 precedenti universi è nato il nostro?

Questa ipotesi è stata elaborata da ricercatori della Princeton University. Non un Big Bang, quindi, ma una "Big Collision" all'inizio di ogni cosa. Secondo Paul Steinhardt, il nostro universo nacque dalla collisione di due altri universi che "galleggiavano" in uno spazio con un numero di dimensioni superiore a tre. Steinhardt sostiene che ciò spiega meglio della teoria del Big Bang alcune caratteristiche dell'universo, come le deboli increspature osservabili nella distribuzione del fondo cosmico di microonde.
Giudizio. Per sapere quale tra le due ipotesi si avvicini di più alla realtà, occorrerà aspettare che vengano finalmente rilevate le "onde gravitazionali" (onde generate dal movimento accelerato nello spazio di oggetti molto massicci), tra le quali potrebbe esserci la testimonianza fossile di precedenti universi.

Rappresentazione al computer di un buco nero.

Quanto "brucia" una stella?

Ogni stella è una grande palla di gas incandescente. Essendo così ardente, il gas ribolle e si agita, ed è solo la forza di gravità a tenerlo insieme. Ma anche una stella non può bruciare in eterno e, a un certo punto, comincia a esaurire il proprio carburante.
Collasso. Allora il rifornimento di calore si interrompe e il gas comincia a raffreddarsi, il suo movimento turbinoso diminuisce e la stretta della gravità su di esso lo comprime in una sfera più piccola. Ma quanto più gli atomi si avvicinano, tanto maggiore diviene la forza di gravità, cosicché si avvicinano ancora di più, la gravità diventa ancora più forte e il gas più compresso, la gravità più forte e... Come va a finire? Se la stella è veramente massiccia - almeno due volte e mezzo più del Sole - all'improvviso sprofonda su se stessa. C'è un'esplosione (detta di supernova) e al centro rimane un oggetto superdenso, la cui gravità è così forte che tutto ciò che gli si avvicina viene risucchiato, cadendo come in un buco nello spazio.
Nemmeno la luce riesce a sfuggirgli: per questo il buco è... nero.

È vero che può evaporare?

Stephen Hawking, astrofisico inglese dell'Università di Cambridge, applicando la teoria quantistica (che interpreta il bizzarro mondo delle particelle subatomiche) ai buchi neri, ha dimostrato matematicamente che questi ultimi irradiano particelle, e possono dunque finire per "evaporare".
Montagna. Ma perché un buco nero di un miliardo di tonnellate (la massa di una piccola montagna) svanisca così, occorre almeno una decina di miliardi di anni.

Atlante per astronomi
Una cupola tridimensionale capace di mostrare i movimenti di stelle e pianeti relativamente alla Terra.

Perché le orbite dei pianeti non sono circolari?

Contrariamente al comune senso estetico, che porta talvolta a ritenere l'ellisse un'insolita storpiatura della circonferenza, l'eventualità di un'orbita perfettamente circolare è rarissima nell'universo.
Meglio Giotto. Questo perché anche la forma ellittica può soddisfare le condizioni fisiche imposte dalla legge di gravitazione universale alla coppia stella-pianeta. La circonferenza è soltanto una delle infinite possibili ellissi: ha dunque una probabilità estremamente scarsa di manifestarsi. Nel nostro sistema solare, le orbite più vicine al cerchio sono quelle della Terra e di Venere. La più allungata, quella di Plutone. ❑

Potremmo deviare un asteroide con un missile nucleare?

Pericolo vagante
Una visione artistica di asteroidi in orbita intorno al Sole: ogni tanto qualcuno di questi sassi cosmici sfiora la Terra.

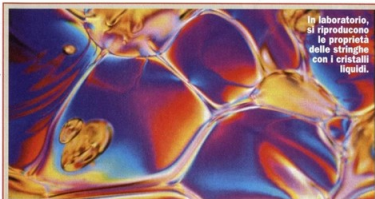
È un'impresa molto delicata, oltreché difficile: se infatti l'asteroide esplodesse in molti frammenti farebbe ancora più danni.

In teoria sì, ma in pratica si tratta di un compito difficile. Per essere certi del successo dell'operazione, infatti, bisognerebbe agire con sufficiente anticipo, cosa attualmente impossibile. La probabilità che un asteroide di diametro maggiore a 1 km ci colpisca entro un secolo, però, è molto bassa: secondo le stime della Nasa 1 su 10.000. Qualche settimana fa la sonda Deep Impact della Nasa ha centrato, con un proiettile, il nucleo di una cometa: ha creato un cratere grande come un campo da calcio ma la cometa non ha cambiato traiettoria. ❑

URTI COSMICI Nell'espandersi, il nostro universo potrebbe collidere con un altro?

Non sappiamo cosa ci sia al di fuori dell'universo, perché non è possibile per noi uscirne. Quello che sappiamo con certezza è che il cosmo è in continua espansione fin dalla sua nascita, quasi 14 miliardi di anni fa. Possiamo immaginare l'universo visibile come una chiazza che si espande alla velocità della luce: nulla esclude l'esistenza di altri universi, oggi invisibili, che potrebbero in futuro "collidere" con il nostro. Ma più che un impatto, ciò che accadrebbe è che questi universi diverrebbero visibili e si mischierebbero al nostro.
Varietà. Il cosmo diventerebbe allora molto più vario di adesso, e sarebbe dotato di enormi zone con temperatura e densità diverse.

È vero che si può vedere la Stazione spaziale internazionale (Iss) da Terra?

Sì, così come altri satelliti, dal momento che, al pari della Luna, riflettono la luce del Sole. Quando sarà completata, la Stazione spaziale sarà più brillante del pianeta Venere. Ma già adesso è possibile vederla passare, benché non tutti i giorni e solo per qualche minuto poco prima dell'alba o poco dopo il tramonto. Di notte, infatti, essa attraversa il cono d'ombra della Terra; mentre, di giorno, la luminosità del cielo impedisce l'osservazione.
Con Internet. Bisogna inoltre sapere in quale direzione guardare; a questo scopo esistono siti Internet che permettono di prevedere il suo transito nel cielo. Uno dei migliori è quello della Nasa: liftoff.msfc.nasa.gov/RealTime/JPass/20.

In laboratorio, si riproducono le proprietà delle stringhe con i cristalli liquidi.

Che cosa sono le stringhe cosmiche?

Anche se ne trovaste una non potreste raccoglierla, perché peserebbe troppo: un milione di miliardi di tonnellate per ogni millimetro. Un chilometro, cioè, peserebbe quanto la Terra. Le stringhe cosmiche sono ipotetici oggetti filiformi, più sottili di un nucleo atomico e senza estremi: possono essere chiuse ad anello o di lunghezza infinita. La loro esistenza è prevista da alcune teorie moderne. Nelle primissime fasi del Big Bang, infatti, si pensa che l'universo abbia subito una transizione di fase paragonabile al congelamento dell'acqua. E le stringhe sarebbero "difetti" dell'universo simili alle crepe che si formano nel ghiaccio quando solidifica rapidamente.
Con le stringhe cosmiche si potrebbe costruire una macchina del tempo. Lo ha proposto nel 1991 J. Richard Gott, docente di fisica all'Università di Princeton (Usa) e autore del libro *Viaggiare nel tempo* (Mondadori). Raggiungere il passato non sarebbe però così facile: bisognerebbe girare in modo opportuno attorno a due stringhe che si muovessero l'una parallela all'altra ma in direzioni opposte e a velocità prossime a quella della luce.

A che velocità si muove la Terra nello spazio?

Luna e Terra stanno sfrecciando intorno al Sole a una media di 106 mila chilometri orari.

Per rispondere a questa domanda occorre chiedersi: rispetto a che cosa? **Rispetto al suo asse**, la Terra ruota compiendo 1 giro ogni 23 ore, 56 minuti e 4,01 secondi. La velocità di un punto che si trovi all'equatore è di 1.670 chilometri all'ora, mentre quella di un punto a 45° di latitudine (che essendo più vicino all'asse deve fare un giro più corto) è di circa 1.073 chilometri all'ora. Un punto sul Polo Nord o Sud ha invece velocità nulla. **Rispetto al Sole**, la Terra impiega 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 46 secondi a compiere un'orbita ellittica della lunghezza di circa 938.900.000 chilometri. La sua velocità media è quindi di 106 mila chilometri all'ora circa. **Rispetto al centro della Via Lattea**, la Terra si muove, assieme al sistema solare, a una velocità di circa 792 mila chilometri all'ora. La Via Lattea, a sua volta, si muove a una velocità stimata in 3.600.000 chilometri all'ora.

Come fanno gli astronauti a fare pipì?

Vanno in bagno, ovviamente: anche nei moduli spaziali, infatti, esistono i gabinetti. Solo che, dovendo funzionare in assenza di gravità, sono costituiti da un sistema di tubicini e imbuti che aspirano separatamente i rifiuti liquidi e quelli solidi. I primi vengono vaporizzati nello spazio, dove congelano come fiocchi di neve; i secondi sono accumulati in un serbatoio, perché all'esterno sarebbero pericolosi. Un'altra differenza con i bagni normali è la presenza sul pavimento di legacci a forma di manico d'ombrello, che servono a "tenere in posizione" gli astronauti.

Pannoloni. In alcune circostanze, però, l'accesso alla toilette è impossibile: accade nelle fasi di lancio, di rientro o durante le attività extraveicolari, che possono durare anche 7-8 ore. In questi casi, esistono dispositivi d'emergenza come pannoloni assorbenti o sacchetti da attaccare sulla pelle.

Strumento di tortura? No, tazza spaziale.

Gli alieni potrebbero assomigliarci?

L'unico modo per formulare ipotesi plausibili è considerare come ha agito l'evoluzione sulla Terra. Gli scienziati hanno osservato che ambienti simili favoriscono soluzioni simili. Per esempio i delfini (che sono mammiferi) e i salmoni (che invece sono pesci) hanno entrambi un corpo affusolato, simile a quello degli ittiosauri, dinosauri acquatici estinti molto tempo prima. Evidentemente questa è una forma ottimale per la vita acquatica. Allo stesso modo, pipistrelli, uccelli e pterodattili hanno sviluppato forme analoghe, adatte al volo.

Se le leggi della natura sono uguali dappertutto, è probabile che siano state adottate le stesse soluzioni anche su altri mondi. Possiamo dunque aspettarci che anche gli alieni abbiano organi di senso e un sistema nervoso per ricevere i segnali e interpretarli.

Zoo galattico. Tuttavia, basta una visita allo zoo per rendersi conto di quanto noi siamo diversi anche da animali coi quali condividiamo gran parte del patrimonio genetico. Figurarsi da eventuali extraterrestri! Tanto più che questi potrebbero avere forme che non riconosceremmo neppure come viventi. Il carbonio è essenziale per formare proteine e acidi nucleici, i mattoni della vita come noi la conosciamo.

Basati sul silicio? Ma anche il silicio ha una buona capacità di legarsi ad altri elementi per formare molecole complesse. E forme di vita basate sul silicio assomiglierebbero più a cristalli, che a piante o animali. ❑

Creature fantastiche

Come potrebbero essere le forme di vita su qualche remoto pianeta? L'autore di questi disegni ha cercato di immaginarne qualcuna sulla base di solide ipotesi scientifiche.

Perché i marziani hanno tradizionalmente la pelle verde?

Sembra si tratti di un'invenzione di Edgar Rice Burroughs, lo scrittore che nel suo *A Princess of Mars* (1912), descrisse marziani dalla pelle colorata, tra cui alcuni verdi. Prima di lui nessuno aveva pensato a questo colore: Herbert G. Wells, per esempio, aveva descritto i marziani de *La guerra dei mondi* (1898) come marroni.

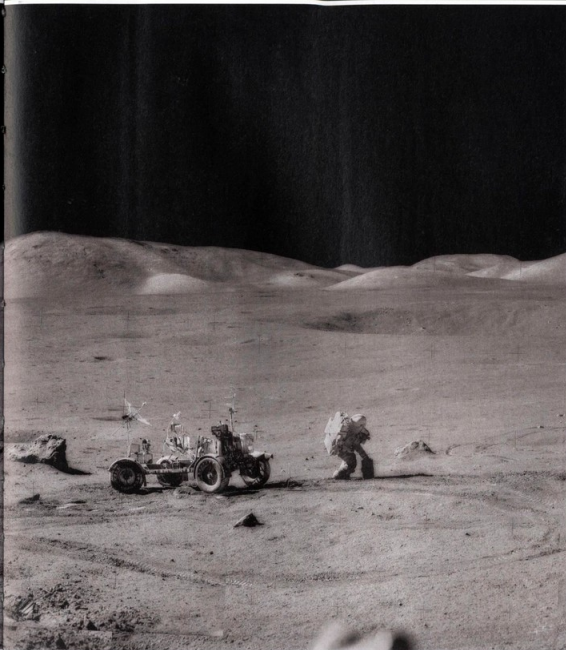
Poster. La popolarità dell'immagine del marziano verde, però, si deve probabilmente ai disegnatori di manifesti dei primi film di fantascienza. I film erano in bianco e nero, ma nei poster i disegnatori potevano sbizzarrirsi con la fantasia e, per raffigurare la pelle dei marziani, sceglievano quasi sempre il verde. Forse perché si tratta del colore più lontano da quelli umani e, visto che ricorda quello di un corpo in decomposizione, il più orripilante.

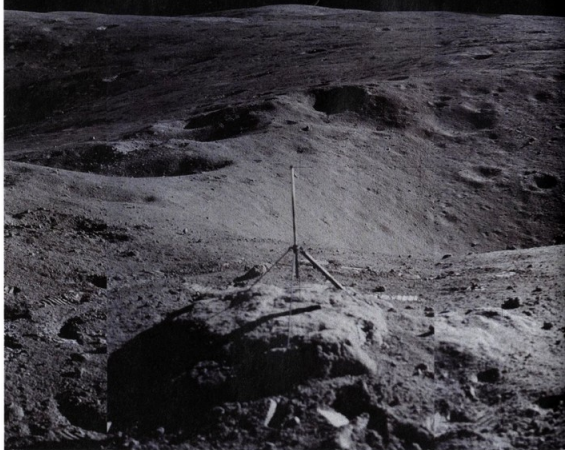
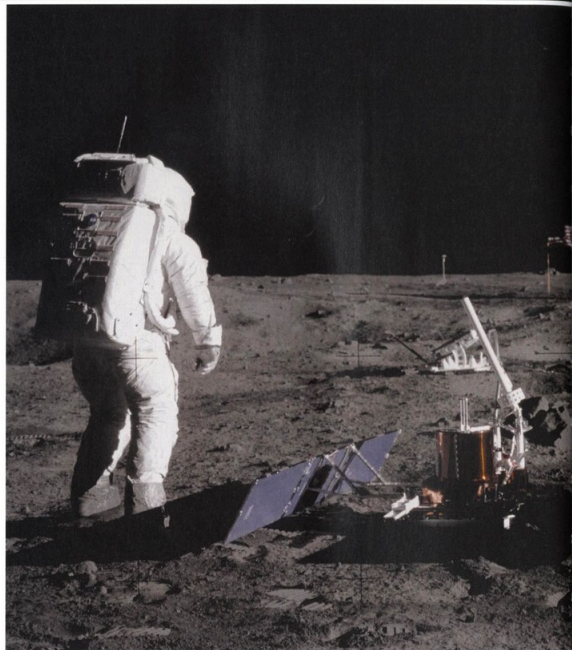
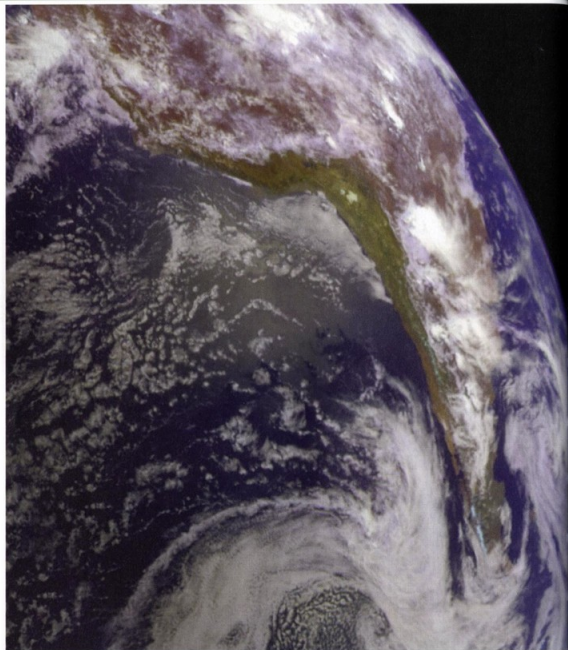
Obiettivo Luna

Dal 1969 (Apollo 11) al 1972 (Apollo 17), sei missioni e 12 esseri umani hanno passeggiato tra i crateri del nostro satellite. Ecco le più belle immagini scattate dagli astronauti.

Il lato oscuro
L'emisfero sud della Luna fotografato sulla rotta del rientro dagli astronauti dell'Apollo 15. Lungo il bordo della notte, si scorge parte della faccia non visibile da Terra, molto più ricca di crateri.

Il ritorno dall'ignoto
21 luglio 1969. Il Modulo lunare dell'Apollo 11, con gli astronauti Neil Armstrong ed Edwin Aldrin, rientra al Modulo di comando, rimasto in orbita. La foto è stata fatta dal terzo astronauta della missione, Michael Collins.

Foto molto speciali
Nel montaggio di varie foto, Eugene Cernan (Apollo 17) con uno strumento per misurare le variazioni di gravità lunare: il campo gravitazionale del nostro satellite è molto irregolare. Al suo fianco un veicolo lunare.

Sulle alture di Cartesio

Charles Duke, della missione Apollo 16, preleva un campione di roccia vicino al cratere "Prugna", nella zona chiamata Alture di Cartesio. Le macchie alle sue spalle sono riflessi solari sull'obiettivo della fotocamera.

La prima, storica, volta
Edwin Aldrin al lavoro sulla superficie della Luna. Intorno a lui, svariate attrezzature per i diversi esperimenti portati a termine dalla missione Apollo 11, la prima a toccare il suolo lunare. Sullo sfondo, la bandiera Usa.

A quando il ritorno?
La Terra (si vede distintamente il Sud America) e, sullo sfondo, una Luna quasi piena. È dal 1972 che un uomo non mette più piede sul suolo lunare. Ma prima o poi ci tornerà. Per sfruttarne il sottosuolo e per impiantarvi laboratori scientifici e osservatori astronomici.

Immagini e disegni

LE SCIENZE: pag. 8 Spl/G. Neri.
METODO SCIENTIFICO: da pag. 10 a pag. 19 Granataimages; Blacic Star/G. Neri, Blacic Star/G. Neri, Spl/G. Neri; G. Neri; G. Neri; Cop. N.T.B. Oslo/G. Neri, F. Speranza/Olycom; Corbis/Contrasto, Corbis/Contrasto, O. Franken/G. Neri; Fototeca Storica, Team, Team, Team; Spl/G. Neri; Corbis/Contrasto, G. Neri, Team, Fototeca Storica, Team, Team; Spl/G. Neri, Team, Publifoto/Olycom; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri.

MATEMATICA E FISICA: pag. 20 Keystone/G. Neri.
PARTICELLE: da pag. 22 a pag. 31 G. Neri, Spl/G. Neri, Olycom, G. Neri, G. Neri; Spl/G. Neri; K. Fleming/National Geographic; disegno S. Ardiani; disegno S. Ardiani; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; G. Neri; disegno S. Ardiani; disegno S. Ardiani; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri.
da pag. 32 a pag. 37 Network/G. Neri; Gamma/Contrasto; Corbis/Contrasto; Corbis/Contrasto, Bilderberg/G. Neri; Corbis/Contrasto; Bilderberg /G. Neri.
MATERIA: da pag. 38 a pag. 43 Masterfile/Zefa; Spl/G. Neri, Monique Bernaz; Getty Images/L. Ronchi, Granataimages; Spl/G. Neri, Chea Chaslerie, J. Rotman/F. Speranza/Olycom, disegno S. Ardiani, Zefa; Zefa, F. Speranza/Olycom, disegno S. Ardiani; Zefa, Spl/G. Neri.
da pag 44 a pag. 49 Corbis/Contrasto; Photo Movie, Gamma/Contrasto, Spl/G. Neri; Granataimages, Granataimages; P. Menzel/G. Neri, Spl/G. Neri; Corbis/Contrasto, Corbis/Contrasto.
LUCE: da pag. 50 a pag. 59 Zefa; Phototake/Zefa, disegno S. Ardiani; Photoservice Electa/AKG, Contrasto, Photoservice Electa/AKG, disegno S. Ardiani; Spl/G. Neri; Contrasto, Photoservice Electa/AKG, Photoservice Electa/AKG, Photoservice Electa/AKG, Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; L. Manning/Granataimages; Spl/G. Neri, Overseas/F. Speranza/Olycom, disegno Spl/G. Neri, disegno Phototake/Zefa; Spl/G. Neri, Phototake/Zefa; Spl/G. Neri, ICP; Spl/G. Neri, Zefa, Spl/G. Neri, Spl/G. Neri.
da pag. 60 a pag. 63 Gamma/Contrasto; Gamma/Contrasto; Masi.
SUPERFORZA: da pag. 64 a pag. 73 G. Neri; Image Bank/Getty Images/L. Ronchi; Spl/G. Neri, F. Speranza/Olycom, Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri, Black Star/G. Neri; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; Thompkinson/Aspelt/G. Neri, disegno S. Ardiani; G. Neri, Spl/G. Neri; G. Neri; disegno S. Ardiani, G. Neri; disegno M. Russo; Black Star/G. Neri; Fotogramma, disegno S. Ardiani.
da pag. 74 a pag. 77 G. Neri; Afp/G. Neri, Laif/Contrasto; Spl/G. Neri; Corbis/Contrasto; Corbis/Contrasto.
RELATIVITA': da pag. 80 a pag. 91 Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; Fototeca Storica; Astrofoto/Olympia/Olycom; Spl/G. Neri; Team Editorial, Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; disegno G. Pomella, G. Neri; Spl/G. Neri; disegno G. Pomella, G. Neri; G. Neri, Spl/G. Neri, Fototeca Storica; Nasa/Spl/G. Neri, disegno G. Pomella; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri.
da pag. 92 a pag. 97 S. Thornton/Corbis/Contrasto; Bilderberg/G. Neri; Bilderberg/G. Neri; Corbis/Contrasto, disegno S. Tognetti; G. Neri, Corbis/Contrasto.
TERMODINAMICA: da pag. 98 a pag. 107 G. Gohier/F. Speranza/Olycom, K. Guldb, P. Guldbrandsen, P. Arnold/F. Speranza/Olycom; Spl/G. Neri, Marka; Arthus Bertrand/Altitude/Tips; Fototeca Storica, Fototeca Storica, Fototeca Storica, Fototeca Storica, Fototeca Storica, G. Neri; Sygma, Corbis/Contrasto, Hoaqui/F. Speranza/Olycom, disegno M. Demma; C. Piccinelli; Spl/G. Neri, F. Speranza/Olycom, F. Speranza/Olycom, F. Speranza/Olycom; Spl/G. Neri; disegno M. Demma; Fototeca Storica; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, disegno M. Demma.
da pag. 108 a pag. 111 Focus/G. Neri; Laif/Contrasto, G. Neri; Laif/Contrasto; Spl/G. Neri, Corbis/Contrasto, disegni R. Dosne/Ca M'Interesse.

CHIMICA: pag. 112 Olycom.
A COSA SERVE LA CHIMICA: da pag. 114 a pag. 123 Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Phototake, disegno S. Ardiani; Corbis/Contrasto, disegni S. Ardiani; Spl/G. Neri; disegni S. Ardiani, Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, disegni S. Ardiani; Corbis/Contrasto, Corbis/Contrasto; Spl/G. Neri, disegni S. Ardiani; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri.
da pag. 124 a pag. 129 Corbis/Contrasto; Prisma Presse; Spl/G. Neri; G. Neri, Corbis/Contrasto, Corbis/Contrasto.

UNIVERSO: pag. 130 Ciel et Espace.
NASCITA: da pag. 132 a pag. 139 Photo Researchers/G. Neri; Astrofoto; Astrofoto/Olycom; Spl/G. Neri; National Geographic, Astrofoto/Olycom.
da pag. 140 a pag. 147 Spl/G. Neri; Gamma/Contrasto; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Olycom; Gama/Contrasto; Gamma/Contrasto; Spl/G. Neri; Gamma/Contrasto, Gamma/Contrasto, Spl/G. Neri.
GALASSIE: da pag. 148 a pag. 153 Spl/G. Neri; G. Neri; Corbis/Contrasto, Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, disegno A. Valentini, Spl/G. Neri.
da pag. 154 a pag. 161 Spl/G. Neri; Corbis/Contrasto; Spl/G. Neri; Corbis/Contrasto; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Spl/G.Neri.
MATERIA OSCURA: da pag. 162 a pag. 167 Spl/G. Neri; disegno S. Adriani; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Eurelios/Granataimages; Spl/G. Neri.
da pag. 168 a pag. 173 Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Corbis/Contrasto, Spl/G. Neri; disegno D. França/Super Interesante; disegno Mundo Estranho.
STELLE: da pag. 174 a pag. 183 Astrofoto; Spl/G. Neri, Muy Interesante, Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri, disegni Muy Interesante; disegno Muy Interesante, Spl/G. Neri, disegni Muy Interesante; National Geographic, disegni Muy Interesante; disegni Muy Interesante; disegno S. Ardiani, disegno Granataimages, Granataimages; disegni Muy Interesante; Spl/G. Neri; Mondadori Press, Mondadori Press.
da pag. 184 a pag. 191 Astrofoto/Olycom, Spl/G. Neri; Contrasto; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri, Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; Astrofoto, CICAP/A. Zoboli; Minden Pictures/G. Neri; Spl/G. Neri; Stone/Getty Images/L. Ronchi.
SOLE: da pag. 192 a pag. 197 ISAS/Japan; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, G. Neri, disegno S. Ardiani; G. Neri; Spl/G. Neri, C. Guaita/Gruppo Astrofili/Tradatese.
da pag. 198 a pag. 205 Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri; Dickinson Terence; Dickinson Terence; Spl/G. Neri, Corbis/Contrasto; R. Ressmeyer/Corbis/Contrasto; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri; R. Ressmeyer/Corbis/Contrasto; Spl/G. Neri; Spl/G. Neri, Spl/G. Neri.

OBIETTIVO LUNA: da pag. 206 a pag. 217 M. Light/Mondadori/Electa Mondadori; Astrofoto; M. Light/Mondadori/Electa Mondadori; M. Light/Mondadori/Electa Mondadori; Corbis/Contrasto; JPL/Nasa.

Indice analitico